

ESTRUCTURA AUTOPORTANTE PARA ASCENSORES DE PERSONAS CON
MOVILIDAD REDUCIDA PARA LA EMPRESA COSERVICIOS S.A.

JUAN CAMILO OCAMPO VÉLEZ

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2010

ESTRUCTURA AUTOPORTANTE PARA ASCENSORES DE PERSONAS CON
MOVILIDAD REDUCIDA PARA LA EMPRESA COSERVICIOS S.A.

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico

Asesor

Sergio Aristizábal Restrepo

Ingeniero de Producción

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2010

A mis padres, por su apoyo incondicional, paciencia y total confianza en mi.

A mi novia, por su paciencia, entrega y acompañamiento en todo momento.

A mi hermano, por mostrarme otra manera de vivir la vida.

A mis abuelos, por el gran amor que siempre me han dado y por mantenerse pendientes de mi.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a Coservicios S.A. por darme la oportunidad de realizar este proyecto dentro de sus instalaciones y acogerme como parte de su equipo de trabajo. Al Ingeniero y Asesor Técnico Vairo Correa, quien ha sido el principal motor de esta investigación, por la confianza, el apoyo y la sabiduría que me ha transmitido no solo profesional sino personalmente.

A todos mis compañeros de I+D por ayudarme cuando lo que necesité y brindarme su apoyo y conocimiento, al personal de instalaciones, mantenimiento y producción que tuvo que ver con el desarrollo de este proyecto y a las demás personas que de alguna manera me aportaron ideas de mejoramiento.

Al ingeniero Sergio Aristizábal, asesor académico de este trabajo, por su direccionamiento y acompañamiento durante esta etapa de mi carrera.

CONTENIDO

	pág.
0. INTRODUCCIÓN	12
1. JUSTIFICACIÓN	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. GENERAL	15
2.2. ESPECÍFICOS	15
3. ALCANCE	16
4. MARCO CONCEPTUAL	17
4.1. TIPOS DE ASCENSORES	17
4.1.1. Según su configuración.	17
4.1.2. Según su función.	21
5. MARCO REFERENCIAL	23
5.1. ANTECEDENTES DE COSERVICIOS	23
5.2. ANTECEDENTES DE LAS ESTRUCTURAS AUTOPORTANTES EN COSERVICIOS	23
5.3. ANTECEDENTES DE LAS ESTRUCTURAS AUTOPORTANTES EN EL MUNDO	24
5.3.1. Otis Elevator (EE.UU).	24
5.3.2. Sumasa (España).	25
5.3.3. Dictator (Alemania).	27
5.3.4. Vimec (Italia).	28
6. MARCO TEÓRICO	30
7. PROCESO DE DISEÑO	31
7.1. METODOLOGÍA	31

7.2. CLARIFICACIÓN DE LA TAREA	31
7.2.1. Requerimientos del producto.	32
7.3. DISEÑO CONCEPTUAL	35
7.3.1. Formulación del problema.	35
7.3.2. Estructura funcional.	35
7.3.3. Alternativas de solución.	38
7.3.4. Combinación de principios funcionales.	42
7.3.5. Evaluación de alternativas.	46
7.4. DISEÑO PARA DAR FORMA	50
7.4.1. Concepto del producto.	50
7.4.2. Forma final del producto.	54
7.5. DISEÑO DE DETALLE	56
7.5.1. Selección de anclajes de expansión.	61
8. CONCLUSIONES	64
9. RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	69

LISTA DE TABLAS

	pág.
1. Lista de requerimientos	32
2. Alternativas para fijar la estructura al piso	39
3. Alternativas para soportar el peso de la estructura	40
4. Alternativas para proteger los componentes del interior de la estructura	41
5. Alternativas para transmitir las fuerzas producidas por el carro a la estructura	42
6. Matriz morfológica	43
7. Evaluación de la alternativa 1	47
8. Evaluación de la alternativa 2	48
9. Evaluación de la alternativa 3	49
10. Dobleces permitidos en Coservicios	51

LISTA DE FIGURAS

	pág.
1. Esquema general de un ascensor sin cuarto de máquinas.	18
2. Esquema general de un ascensor con cuarto de máquinas.	19
3. Esquema general de un ascensor hidráulico.	20
4. Esquema general de ascensores hidráulicos directos.	21
5. Estructura exterior Otis.	24
6. Plataforma elevadora Otis.	25
7. Estructura exterior Sumasa.	26
8. Plataforma elevadora Sumasa.	26
9. Estructura interior Sumasa.	27
10. Estructura Dictator.	27
11. Componentes estructura Dictator.	28
12. Estructura autoportante Vimec.	29
13. Estructura Vimec instalada en el interior de una casa.	29
14. Tipos de flujos en la caja negra	36
15. Caja Negra	37
16. Caja Transparente	38
17. Principios funcionales	38
18. Rutas de la matriz morfológica	43
19. Combinación de principios funcionales 1	44
20. Combinación de principios funcionales 2	45
21. Combinación de principios funcionales 3	45
22. Medidas de cabinas para HPMPR	50
23. Geometría para las columnas de la estructura	52
24. Geometría para las vigas de la estructura	52
25. Perfiles de aluminio para los vidrios del cerramiento	53
26. Tapa para asegurar los marcos con vidrios	53

27.	Anclajes para cabinas HPMR	54
28.	Base de la estructura	55
29.	Estructura, anclajes y guías	55
30.	Ensamble general de una estructura autoportante	56
31.	Propiedades del material de las columnas	57
32.	Condiciones de operación para el cálculo de las columnas	58
33.	Resultados generales del análisis	58
34.	Esfuerzo de Von Mises	59
35.	Primer esfuerzo principal	59
36.	Desplazamientos	60
37.	Factor de seguridad	60
38.	Diagrama de cuerpo libre de la estructura	61
39.	Anclaje Kwik Bolt 3	63
40.	Detalle de la base y el anclaje a piso	72
41.	Base y primera columna	72
42.	Primer módulo de columnas	73
43.	Primer módulo de columnas con anillo	73
44.	Estructura completa de dos niveles	74
45.	Cargas Permisibles para Kwik Bolt 3 de Acero al Carbono en Concreto	78

GLOSARIO

BASTIDOR: estructura metálica que soporta a la cabina o al contrapeso y a la cual se fijan los elementos de suspensión. Dicha estructura puede constituir parte integrante de la misma cabina o ser un componente independiente.

CARRO: conjunto compuesto por el bastidor y la cabina del ascensor (incluyendo la carga). En transporte vertical, este conjunto se conoce como $P+Q$, donde P es el peso de la cabina más el bastidor y Q es la capacidad del ascensor en kilos.

CUARTO DE MÁQUINAS: lugar destinado para la ubicación de las máquinas y equipos relacionados con el funcionamiento de los ascensores.

ESTRUCTURA AUTOPORTANTE: estructura modular metálica cuya disposición de elementos permite la distribución de fuerzas, el sustento de su propio peso y el de accesorios complementarios.

FOSO: parte del pozo de un ascensor que se encuentra por debajo de la primera parada. También se conoce como recorrido negativo.

GUÍA: perfil rígido generalmente de acero que obliga a la cabina o al contrapeso a seguir la trayectoria establecida en el hueco de un ascensor.

PMR: Persona con Movilidad Reducida.

POZO: también llamado hueco, es el espacio o cerramiento por el cual transita un ascensor dentro de un edificio y en el cual se encuentran dispuestos los accesorios que ayudan a su funcionamiento.

RECORRIDO: distancia vertical que recorre un ascensor desde la primera parada hasta la última.

SOBRERRECORRIDO: parte del pozo que está por encima de la última parada.

RESUMEN

El presente trabajo ilustra el proceso de diseño de una estructura autoportante que hará las veces de pozo de ascensores hidráulicos principalmente para personas con movilidad reducida, los cuales tendrán una capacidad máxima de 350 kg. y una velocidad entre 0.1 y 0.2 m/s.

Para llegar a la solución final se hace una investigación sobre los diferentes tipos de estructuras existentes en el mercado colombiano y mundial, luego de analizar las diferentes formas y geometrías se presentará una idea de la estructura que se desarrollará en Co-servicios y se realizarán los respectivos cálculos, planos y además un prototipo a escala real, el cual se utilizará para hacer las pruebas necesarias en pos de futuras mejoras.

0. INTRODUCCIÓN

Uno de los campos de aplicación de la Ingeniería Mecánica es el Diseño de elementos, máquinas, equipos e instalaciones para el beneficio de la sociedad, mediante el análisis de necesidades, formulación y solución de problemas técnicos y apoyo en desarrollos científicos para prestar un servicio adecuado mediante el uso racional y eficiente de los recursos disponibles.¹

Este trabajo busca documentar el proceso de diseño de una estructura autoportante para ascensores en la empresa COSERVICIOS S.A., teniendo en cuenta los procesos de selección de materiales, proveedores, manufactura y costos.

Para alcanzar el objetivo principal, se parte de una investigación sobre los diferentes fabricantes que ofrecen este tipo de estructuras y luego se enfoca el diseño en base a los requerimientos tanto de los clientes internos como externos de la compañía, analizando las normas que apliquen y evaluando las diferentes alternativas de solución que se vayan presentando, siguiendo los distintos métodos de diseño de productos que existen.

Todo esto se complementará con modelaciones en 3D, cálculos y análisis por medio de Métodos de Elementos Finitos para validar materiales, geometrías y fuerzas involucradas en la estructura para lograr la seguridad requerida tanto para el producto como para el usuario final.

Para obtener la solución más acertada y conveniente para la empresa mencionada, se documentará todo el proceso con el fin de brindar a los directivos y/o jefes una propuesta viable y bien fundamentada que les permita tomar las decisiones pertinentes al final del proyecto.

¹ UNIVERSIDAD EAFIT, Ingeniería, Pregrados, Ingeniería Mecánica: ¿De qué se trata Ingeniería Mecánica?, <http://www.eafit.edu.co/EafitCn/Ingenieria/Pregrados/IngenieriaMecanica/Index.htm>

1. JUSTIFICACIÓN

Apenas en el año 2006, el Metro de Medellín era usado diariamente por algo más de 370.000 personas. De ellas, 300 (el 0.079 %) con movilidad reducida (usuarios discapacitados). En la ciudad hay aproximadamente 12.000 personas con este tipo de problema y si todos utilizaran el Metro serían el 3.08 % de los usuarios (estos serían los usuarios discapacitados potenciales) (PORRAS@², 2006).

En Colombia existe un decreto emitido por el Ministerio de Transporte (Decreto 1660 de 2003) en el cual se obliga a las empresas de transporte a adecuar sus instalaciones para facilitar el ingreso de personas con movilidad reducida (GALLEGO@, 2003).

Debido a esto, Coservicios S.A. que es una empresa que desarrolla e implementa sistemas de transporte vertical como ascensores, escaleras mecánicas y rampas móviles, quiere ampliar su participación en este mercado con un producto que permita facilitar el acceso de personas con discapacidad a estaciones, plataformas elevadas o edificios que no posean sistemas de elevación.

Dicho producto será una estructura autoportante, la cual es una estructura modular que ofrece una solución sencilla, rápida y práctica en la instalación de ascensores hidráulicos tanto en edificaciones existentes que no poseen pozo como en edificios en construcción en los que no se prevé habilitar un hueco de obra o en edificios antiguos en proceso de rehabilitación o remodelación.

Con ello se consigue disponer de un soporte sólido, resistente y de fácil instalación que permite reducir tiempos de montaje y algunas de las tareas de interventoría de obra civil como la constante revisión de medidas del hueco del ascensor.

Debido a que los ascensores que se movilizan al interior de estas estructuras son para

²@: Bibliografía tomada de Internet.

personas con algún tipo de discapacidad, se deben cumplir no solo requisitos como bajas velocidades sino que deben ser poco ruidosos y muy económicos para poder ser instalados en casas y edificios residenciales.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Presentar una propuesta de diseño de una estructura autoportante para ascensores, que pueda ser instalada en lugares que no posean facilidades de acceso para personas con movilidad reducida.

2.2. ESPECÍFICOS

Identificar los diferentes tipos de estructuras autoportantes que existen en el mercado actual, realizando visitas de campo, consultas en internet y catálogos para comparar sus atributos y tenerlos en cuenta en el nuevo diseño.

Describir las especificaciones básicas que debe tener la estructura, basándose en los requerimientos de la compañía para cumplir las normas vigentes y satisfacer a los clientes.

Generar conceptos de solución aplicando una metodología que permita de una manera sistemática y ordenada cumplir los requerimientos planteados.

Ilustrar las posibles soluciones que cumplan con las especificaciones y requerimientos propuestos, mediante el uso de una matriz morfológica para seleccionar la mejor opción.

Evaluar la propuesta seleccionada mediante la construcción de un prototipo y su respectivo análisis para asegurar la confiabilidad del producto y la viabilidad del proyecto.

3. ALCANCE

El desarrollo de este trabajo llega hasta la presentación de planos de ensamble generales con las principales dimensiones de la estructura, los resultados obtenidos de los cálculos hechos para la resistencia de la misma y las diferentes propuestas de diseños para la fabricación final por parte de Coservicios.

Este trabajo puede presentar ligeras variaciones de la realidad con el propósito de proteger el *Know How* de la empresa. Planos de fabricación, memorias de cálculo, manual de instalación y análisis de costos, serán entregados únicamente a Coservicios S.A.

4. MARCO CONCEPTUAL

Un ascensor o elevador es un sistema de transporte vertical diseñado para movilizar personas o bienes entre diferentes alturas. Puede ser utilizado ya sea para ascender o descender en un edificio o una construcción subterránea. Se conforma con partes mecánicas, eléctricas y electrónicas que funcionan conjuntamente para lograr un medio seguro de movilidad.³

4.1. TIPOS DE ASCENSORES

Aunque dentro del alcance de este proyecto no entran el diseño de la cabina ni del bastidor que acompañan a las estructuras autoportantes, es importante conocer los diferentes tipos de ascensores que existen y en cuál se enfocó este proyecto.

Los ascensores se pueden clasificar en dos grupos, según su configuración y según su función.

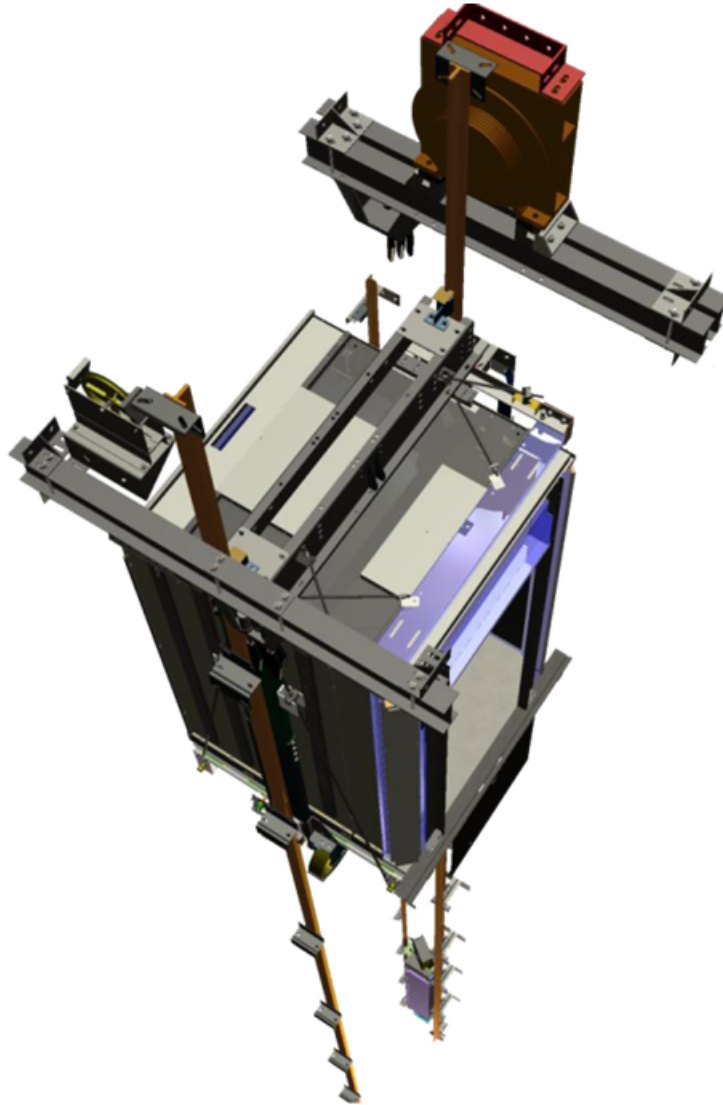
4.1.1. Según su configuración. Existen dos configuraciones principales: ascensores de tracción por cables y ascensores hidráulicos (de tracción por pistón).

Ascensores a tracción: estos están compuestos principalmente por una cabina y un contrapeso que cuelgan por medio de cables de acero sobre una polea dispuesta en una máquina de tracción que es la encargada del movimiento ascendente y descendente. Estos pueden ser de dos tipos: sin cuarto de máquinas (Roomless o MRL por sus siglas en inglés) (figura 1) y con cuarto de máquinas (figura 2). En los

³Tomado de Wikipedia La enciclopedia libre. En <http://es.wikipedia.org/wiki/Ascensor> [consultada en agosto de 2009]

primeros, la máquina, la bancada y los controles se encuentran en el interior del pozo del ascensor, mientras que en los segundos, estos componentes se disponen en una habitación a parte llamada cuarto de máquinas.

Figura 1: Esquema general de un ascensor sin cuarto de máquinas.



Fuente: Base de datos Coservicios

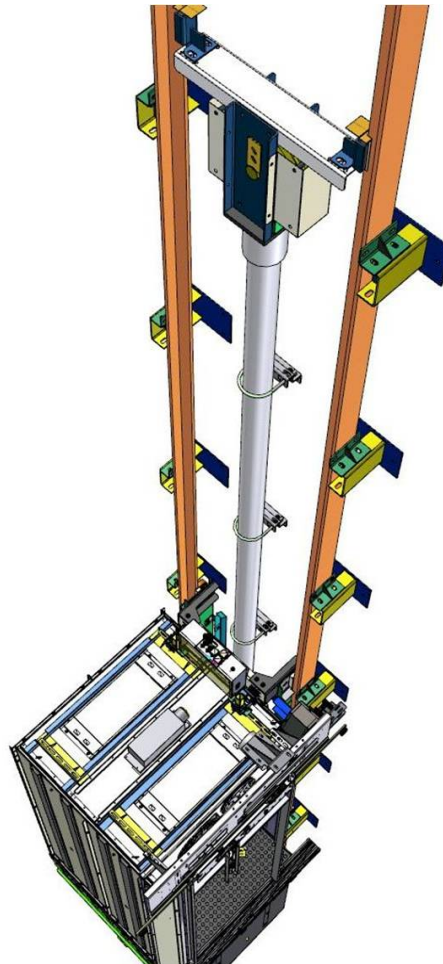
Figura 2: Esquema general de un ascensor con cuarto de máquinas.



Fuente: Base de datos Coservicios

Hidráulicos: estos equipos se mueven mediante el empuje de un pistón que se extiende gracias a la acción de una bomba hidráulica. A diferencia de los ascensores a tracción, no requieren contrapeso, son más lentos y sus recorridos son más cortos (máx. 15 m) (figura 3).

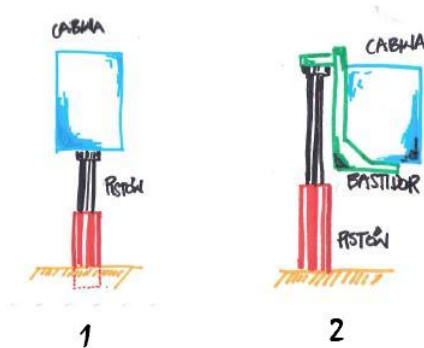
Figura 3: Esquema general de un ascensor hidráulico.



Fuente: Base de datos Coservicios

Existen dos tipos de ascensores hidráulicos, los de acción directa ó 1:1 y los de acción indirecta ó 2:1. En los primeros (figura 4), el pistón va unido directamente al bastidor, bien sea por un costado o por debajo de éste, en cuyo caso, la camisa del cilindro debe ser enterrada en el piso (cilindro *in-ground*) (Figura 4-(1)). En los indirectos (figura 3), el cilindro va unido a un componente adicional llamado carro polea, por el cual a través de cables de acero se produce el movimiento vertical. Al ser esta una configuración 2:1, este tipo de ascensores hidráulicos permite alcanzar mayores distancias y elevar el doble de carga que un sistema directo ó 1:1.

Figura 4: Esquema general de ascensores hidráulicos directos.



Fuente: MUÑOZ VÁSQUEZ.

4.1.2. Según su función. además de personas, existen otras funciones de aplicabilidad de los ascensores, entre las cuales se encuentran: carga industrial, camillas, automóviles, etc.

Pasajeros (TL): como su nombre lo indica, son usados exclusivamente para el transporte de personas, tanto en zonas residenciales como comerciales.

Montacargas (MK): generalmente son usados para transportar solo materiales y maquinaria, aunque en algunos casos puede ser también personas y carga.

Camilleros (MC): son diseñados especialmente para el transporte de camillas y personas dentro de centros médicos.

Montacoches (MCO): se utilizan para el transporte de automóviles. En algunos casos pueden ser solo una plataforma, no una cabina completa.

Montaplatos (MP): son de tamaños muy pequeños y sirven en restaurantes o casas para el transporte de objetos pequeños.

Ya que las estructuras autoportantes que son objeto de este proyecto están inicialmente pensadas para transportar personas con movilidad reducida, se requieren ascensores de baja velocidad y recorridos cortos, lo cual se puede obtener tanto con ascensores de tracción por cables como hidráulicos.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. ANTECEDENTES DE COSERVICIOS

Coservicios S.A. es una empresa que diseña, fabrica, instala y realiza mantenimiento a sus propios ascensores.

”Fue fundada en 1965 como una Empresa Metalmecánica para prestar servicio al sector industrial. En el año de 1975 se constituyó como una fábrica de Ascensores, con la marca ASCENSORES ANDINO, siendo el gestor de esa iniciativa el entonces Presidente del Grupo Inversiones Mundial Doctor Darío Moreno Restrepo.

Desde 1980, la Compañía fue adquirida por un grupo de Inversionistas liderado por el Ingeniero Rodrigo Villa Galvis, quien desde esa fecha ocupa la Dirección de la Empresa. Poco a poco, inició un proceso de Integración, creando para ello un Departamento de Investigación y Desarrollo en las áreas de Ingeniería Electrónica y Mecánica, incorporando tecnología de punta, para ir escalando posiciones en el mercado colombiano y llegar a constituirse desde 1989 como la primera empresa de su tipo en Colombia y permanecer en esa posición desde entonces.”⁴

5.2. ANTECEDENTES DE LAS ESTRUCTURAS AUTOPORTANTES EN COSERVICIOS

Actualmente la empresa comercializa e instala equipos autoportantes de la marca italiana Vimec, los cuales se encuentran en diferentes ciudades del país y en algunas estaciones del Metro de Medellín, pero debido a su alto costo, es difícil ampliar su mercado y ofrecerla a otros clientes que requieran de este producto.

⁴COSERVICIOS S.A. Reseña histórica, <http://www.coservicios.com/> [consultada en febrero de 2009]

5.3. ANTECEDENTES DE LAS ESTRUCTURAS AUTOPORTANTES EN EL MUNDO

Grandes fabricantes a nivel mundial de equipos de transporte vertical han diseñado varios tipos de estructuras autoportantes. El principio de funcionamiento de los ascensores para estas estructuras es el mismo - hidráulico -. Los cerramientos varían entre vidrios y chapas metálicas, al igual que los diseños en las columnas y vigas de soporte. Las puertas de piso, resultan en su mayoría batientes.

Algunas de las empresas internacionales que hacen este tipo de estructuras son:

5.3.1. Otis Elevator (EE.UU). El fabricante más grande de ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles en el mundo, ofrece una estructura autoportante con una plataforma elevadora para edificios que carecen de ascensor, con el mismo principio y para el mismo usuario final, personas con movilidad reducida.

Figura 5: Estructura exterior Otis.



Fuente: <http://www.otis.com/site/es-esl/pages/BEXX.aspx>

Figura 6: Plataforma elevadora Otis.



Fuente: <http://www.otis.com/site/es-esl/pages/Verticales.aspx>

5.3.2. Sumasa (España). La estructura de la empresa española Sumasa (Suministradora de Ascensores S.A.) está compuesta por perfiles abiertos de chapa plegada y un número variable de módulos, cada uno de los cuales está formado por cuatro columnas dispuestas verticalmente y unidas entre sí mediante travesaños laterales traseros cada 1.5 metros para la fijación de guías, cilindro y otros elementos necesarios del ascensor y travesaños delanteros entre puertas, permitiendo la regulación de las mismas hacia el interior o exterior del recinto. Todas las uniones entre las distintas partes son atornilladas. Su aplicación permite alojar en su interior ascensores hidráulicos, eléctricos, con o sin cuarto de máquinas y plataformas para minusválidos, tanto en edificios públicos, comunidades de propietarios, casas particulares, industrias, etc.

Figura 7: Estructura exterior Sumasa.



Fuente: SUMASA@, 2008. Estructura Modular Sumasa

Gracias a la versatilidad y diseño personalizado para cada instalación, se pueden instalar estructuras de medidas muy reducidas, desde una persona hasta ocho (650 kg.) con fosos mínimos a partir de 100 mm y sobrerrecorridos mínimos de seguridad a partir de 2450 mm.

Figura 8: Plataforma elevadora Sumasa.



Fuente: SUMASA@, 2008. Estructura Modular Sumasa

Figura 9: Estructura interior Sumasa.



Fuente: SUMASA@, 2008. Estructura Modular Sumasa

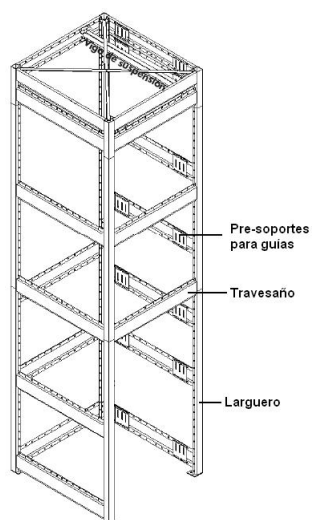
5.3.3. Dictator (Alemania). La estructura modular Dictador está compuesta por diferentes elementos como columnas, travesaños, refuerzos y pre-soportes para la fijación de guías. Estos se pueden adaptar a las exigencias de cada obra con solo algunas variaciones entre ellos.

Figura 10: Estructura Dictator.



Fuente: DICTATOR@. Estructura modular polivalente

Figura 11: Componentes estructura Dictator.



Fuente: DICTATOR@. Estructura modular polivalente

5.3.4. Vimec (Italia). Esta marca italiana cuenta con un catálogo de productos que ofrece una gran variedad de soluciones para superar barreras arquitectónicas tanto en edificios públicos y privados como al interior de las viviendas.

Figura 12: Estructura autoportante Vimec.



Fuente: <http://www.lifestyleliftselectrical.com.au/PDF/Vimec-E06-Brochure.pdf>

Figura 13: Estructura Vimec instalada en el interior de una casa.



Fuente: <http://www.lifestyleliftselectrical.com.au/PDF/Vimec-E06-Brochure.pdf>

Como podemos observar, son muchas las compañías en el mundo que ofrecen este tipo de producto, con características similares y destinadas en su mayoría a usuarios discapacitados. Por esto es que se considera que este nuevo producto en Coservicios es innovador y que tendrá una fuerte acogida dentro del mercado de ascensores.

6. MARCO TEÓRICO

Para el diseño de la estructura autoportante será necesario considerar el cálculo de perfiles estructurales, específicamente, el pandeo de columnas, pues éstas son las encargadas principales de soportar las cargas involucradas.

Así mismo, cabe anotar que aunque la estructura como tal es un elemento estático, existen ciertos factores que pueden incidir en su comportamiento. Dichos factores son:

- El hecho de que dentro de ella se encuentra un ascensor, el cual está sujeto a unas guías, y que dichas guías están unidas a la estructura por medio de anclajes.
- El hecho de que puede ser instalada por fuera de los edificios (a la intemperie), lo cual indica que estará sometida a fuerzas de vientos y posibles movimientos sísmicos. Sin embargo, este caso no se considerará dentro del alcance de este proyecto.

7. PROCESO DE DISEÑO

7.1. METODOLOGÍA

Para el diseño de la estructura autoportante se tomará como base la metodología propuesta por los autores G. Pahl y W. Beitz, cuyas etapas son:

- Clarificación de la tarea: es una recopilación de la información acerca de los requerimientos, las restricciones y los deseos que se deben tener en cuenta durante el proceso de diseño.
- Diseño conceptual: consiste en establecer la estructura funcional del producto, buscar principios de solución adecuados y combinarlos para conformar posibles soluciones.
- Diseño para dar forma: en esta etapa se debe determinar la forma del producto para así desarrollar un sistema técnico que cumpla con las especificaciones técnicas y económicas.
- Diseño de detalles: una vez se tiene el concepto general del producto, se desarrollan las formas, las propiedades y se especifican los materiales de los componentes individuales, se verifican los aspectos técnicos tenidos en cuenta y la viabilidad económica del producto, además se generan los planos y los documentos pertinentes para la producción.

7.2. CLARIFICACIÓN DE LA TAREA

Actualmente Coservicios cuenta con 3 unidades de negocio principales, transporte vertical, teleféricos y subestaciones eléctricas. La parte con la cual se involucra este proyecto

es la del transporte vertical, la cual abarca el diseño y producción de ascensores de todo tipo y representaciones de escaleras y rampas mecánicas de otras marcas.

En el tema de los ascensores hay una nueva tendencia mundial a ampliar el portafolio y diseñar productos enfocados a ayudar a las personas con movilidad reducida a enfrentar fácilmente cualquier barrera arquitectónica, por eso Coservicios participa también en este mercado con la importación de equipos para este fin.

Sin embargo, para ir más allá de la sola importación de dichos equipos, la empresa ha decidido participar en este sector con un producto propio, diseñado y fabricado desde sus instalaciones, que resulte más competitivo, favorable y alcanzable al público en general y que además permita reducir los trámites de importación y los tiempos de entrega, y que además por ser propio se tenga pleno conocimiento de todas sus partes para futuros cambios, modernizaciones, reparaciones, etc.

7.2.1. Requerimientos del producto. Para llegar a la solución esperada es necesario construir una lista de los requerimientos que debe cumplir el producto terminado, la cual permitirá llevar a cabo el proceso de diseño de una manera más enfocada y con la certeza de que al final se cumplirán los deseos y demandas de la compañía y de los usuarios finales.

Tabla 1. Lista de requerimientos

TEMA	REQUERIMIENTOS	D	d
DESEMPEÑO	La estructura debe soportar el P+Q del sistema sin tener deformaciones permanentes (máx. 800 kg.)	D	
	La capacidad de la estructura debe ser para equipos con capacidad máxima de 385 Kg. (una persona en silla de ruedas con un acompañante) (ver anexo D)	D	

TEMA	REQUERIMIENTOS	D	d
ASPECTOS LEGALES	Debe cumplir las normas relacionadas de plataformas y equipos para personas con movilidad reducida (Normas EN 81-70, EN 81-41, ADA)	D	
LOGÍSTICA	Evitar fabricaciones especiales por terceros		d
	Utilizar los mismos proveedores de materiales que ya posee la empresa		d
	El empaque de las piezas a despachar (guacales) debe ser fácil de manejar dentro de la empresa (máx. 2.5 x 1.0 x 0.5 m)	D	
INSTALACIÓN	Utilización de pocas herramientas para ensamblar (Ratchet, juego de copas y llaves.)		d
	Las piezas de la estructura deben poder ser manipuladas por dos personas (máx. 50 kg. ó $1,5m^2$)	D	
	Se deben evitar hacer modificaciones en la obra o procesos industriales (por ejemplo soldar)	D	
	Bajo número de piezas a ensamblar por cada nivel (máx. 6)		d
MANUFACTURA	Los componentes de la estructura deben ser fabricados con los procesos disponibles en la empresa (cizallado, punzonado, doblado, soldadura, pintura)		d
	La estructura debe ser modular	D	
	Todas las partes que necesiten pintura electrostática en polvo deben tener como mínimo una perforación de 10mm de diámetro	D	
	Utilizar máximo 3 calibres diferentes de lámina (3, 4.5 y 6 mm)		d
	Se deben requerir pocos procesos para la manufactura de cada componente (máx. 4)		d
	Evitar procesos con terceros		d

TEMA	REQUERIMIENTOS	D	d
CALIDAD Y CONFIABILIDAD	Componentes resistentes a los factores externos del ambiente (intemperie) (Pinturas anticorrosivas, vidrios templados, etc.)	D	
	Los componentes exteriores deben poder soportar la aplicación de una fuerza de 300 N sin presentar deformación permanente (máx. 15 mm)	D	
TAMAÑO	La longitud máxima de las columnas debe ser de 3 m	D	
	El foso mínimo requerido debe ser de 0.12 m	D	
	El área máxima de la estructura debe ser de $2,25m^2$	D	
MANTENIMIENTO	Evitar aprietes en las uniones pernadas después de la instalación inicial (Ver anexo C)	D	
	Los componentes del cerramiento deben ser fáciles de cambiar en caso de ser necesario (ensambles con remaches, pegantes o tornillos)	D	
	La geometría de la estructura debe permitir realizar una limpieza periódica con facilidad (Perfiles abiertos, cerramientos planos)	D	
	Las puertas y sus accesorios deben ser fáciles de montar y desmontar en caso de averías	D	
AMBIENTE	La estructura debe poder instalarse tanto en espacios interiores como en exteriores	D	
	Debe ser resistente y perdurar con el tiempo y el uso (materiales anticorrosivos, resistentes a los rayos solares)	D	
	Componentes amigables con el medio ambiente	D	

7.3. DISEÑO CONCEPTUAL

En esta etapa se procede a esclarecer las funciones esenciales que debe satisfacer el producto final. Luego, se evalúan las posibles combinaciones de principios funcionales para así poder determinar una solución viable.

7.3.1. Formulación del problema. Diseñar una estructura autoportante que haga las veces de pozo de ascensores hidráulicos para personas con movilidad reducida, que pueda ser instalada tanto al interior como al exterior de los edificios, que requiera un foso máximo de 120 mm y que ocupe un área máxima de $2,3m^2$.

7.3.2. Estructura funcional. “Las estructuras son elementos constructivos cuya misión fundamental es la de soportar un conjunto de cargas [...]”⁵, ya sean debido a su propio peso, a cargas de funcionalidad o de acciones externas.

Dentro de las cargas de funcionalidad se incluyen las que actúan sobre la estructura en cuestión, como por ejemplo la cabina del ascensor y las personas.

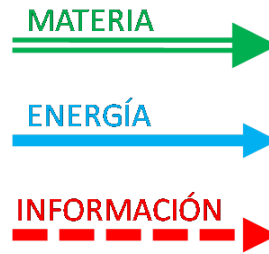
Las acciones externas serían las producidas por la temperatura (dilatación, contracción), el viento, el agua y los sismos, que como se mencionó antes, estos últimos no se tomarán en cuenta en este proyecto.

El desplazamiento de la cabina de un ascensor a través del pozo, o en este caso, de la estructura, se logra por el deslizamiento entre el bastidor y las guías. Estas están sujetas por medio de anclajes a la estructura, la cual finalmente, es la encargada de soportar todo el peso del conjunto, transmitir las fuerzas y las vibraciones al edificio y al piso y garantizar que el elevador mantenga su curso.

⁵Tomado de Open Course Ware. Universidad de Sevilla. En http://ocwus.us.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/calculo-de-estructuras-1/apartados/apartado1_1.html [Consultada en enero de 2010.]

La forma más adecuada de representar la función principal de un sistema es por medio de una caja negra (figura 15), la cual ilustra en forma general cómo dicha función transforma las entradas de materia, energía o información en salidas (figura 14).

Figura 14: Tipos de flujos en la caja negra



Antes de definir dichas entradas y salidas es pertinente resolver tres incógnitas para facilitar esta tarea:

- Qué debe hacer el sistema: sostener guías, proteger la cabina (del agua, polvo, etc.)
- Qué debe permitir el sistema: el acceso de los usuarios del ascensor, el libre desplazamiento de la cabina.
- Qué se desea que haga el sistema: que se pueda instalar tanto en interiores como en exteriores.

Teniendo estas respuestas, se pueden definir las siguientes entradas y salidas:

ENTRADAS

- Viento con partículas: ya que la estructura podrá estar a la intemperie, el viento es un factor que incide sobre ella, pues la golpea directamente. Además puede contener partículas que si no son desviadas, afecten el funcionamiento de las partes.
- Agua: así como el viento, el agua, en caso de lluvia o de limpieza, puede afectar todo el conjunto.

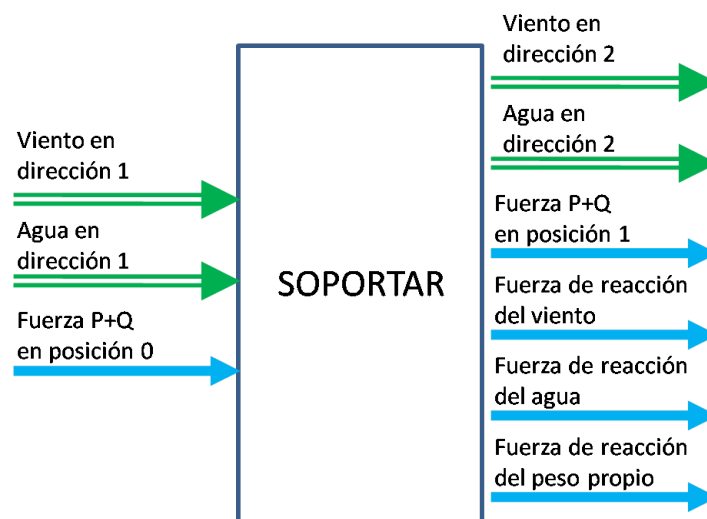
- Peso del sistema de elevación (P+Q): como el carro está unido a las guías y éstas a su vez están unidas a la estructura, el peso de todo el conjunto se transmite directamente a ella.

Nota: las vibraciones producidas por el movimiento del carro son despreciables gracias a que el sistema motriz es hidráulico y su velocidad es muy baja en relación a los elevadores de tracción corrientes. Por lo tanto, no se considerarán como entradas al sistema.

SALIDAS

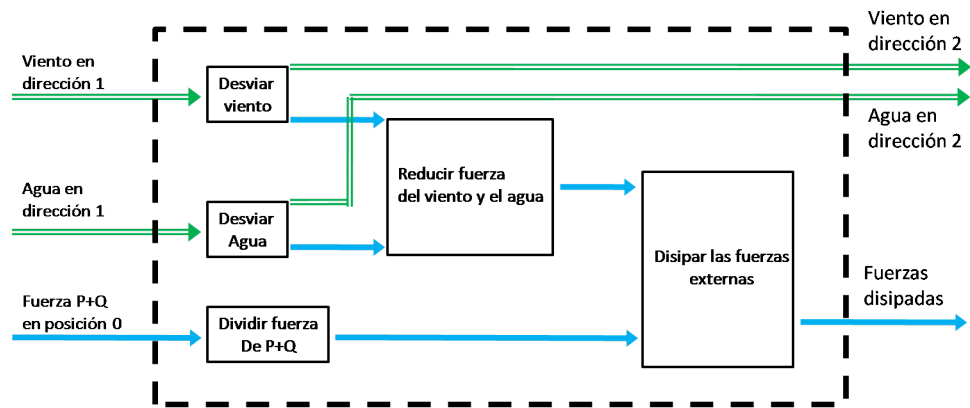
- Viento con partículas desviado: los elementos del cerramiento de la estructura se encargan de desviar el viento que choque contra la estructura.
- Agua desviada: en este caso, a parte del cerramiento, el techo de la estructura también desvía el agua que caiga sobre ésta.
- Fuerzas de reacción (del viento, del agua, del P+Q y del propio peso): todos los movimientos y vibraciones producidos por estos factores serán absorbidos y disipados por la estructura.

Figura 15: Caja Negra



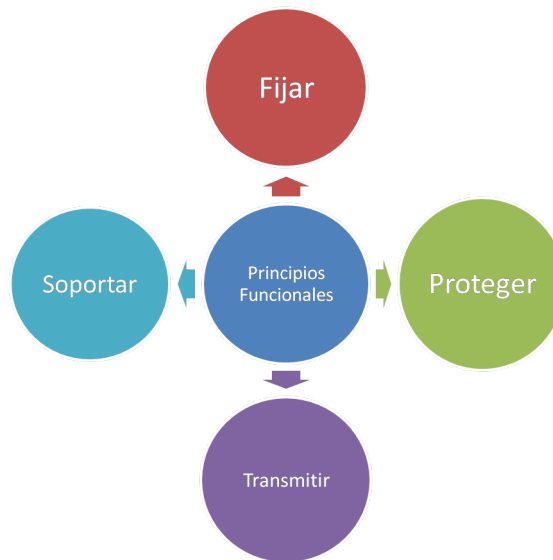
Luego de tener las entradas y salidas definidas, es necesario analizar cómo es el proceso de conversión dentro de la caja negra. Para esto, la función principal debe ser descompuesta en funciones secundarias que ayuden a visualizar el proceso completo. En la caja transparente de la figura 16 se pueden ver los flujos más detalladamente.

Figura 16: Caja Transparente



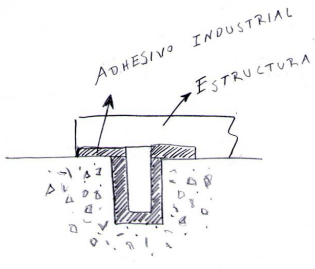
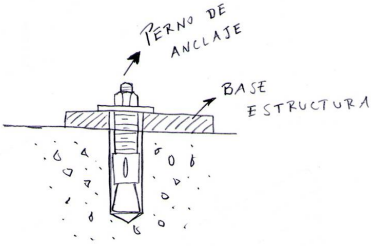
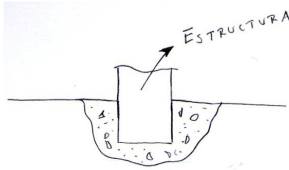
7.3.3. Alternativas de solución. Ya que se conocen las funciones secundarias del sistema, es importante definir las posibles alternativas que cumplen con dichas acciones y que esclarecen el funcionamiento de los subsistemas existentes.

Figura 17: Principios funcionales



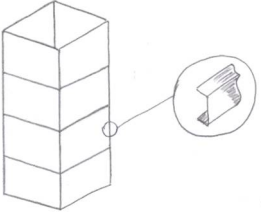
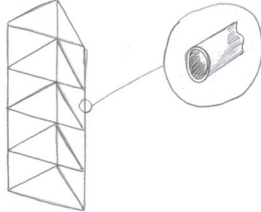
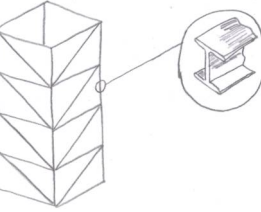
La tabla 2 muestra las alternativas con las que se podría fijar la estructura al piso de concreto. Se debe tener en cuenta que el área donde se apoye cada estructura debe ser reforzada debidamente para soportar el peso y las posibles vibraciones.

Tabla 2: Alternativas para fijar la estructura al piso

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
F1	Por medio de adhesivos industriales	
F2	Por medio de pernos de anclaje	
F3	Empotrando la estructura al piso	

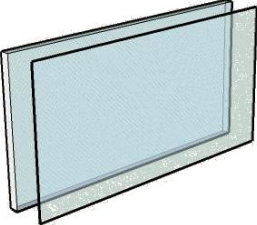
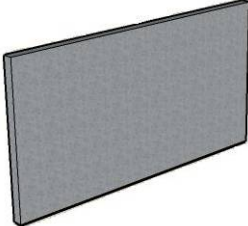
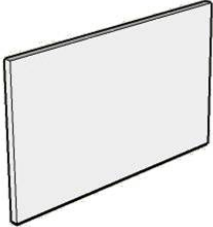
La tabla 3 muestra las alternativas para la función más importante del diseño, soportar. Como su nombre lo indica, dicha función es la encargada de soportar todo el peso del sistema de elevación y el propio.

Tabla 3: Alternativas para soportar el peso de la estructura

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
S1	Estructura de marcos rígidos con perfiles en lámina metálica	
S2	Estructura de marcos rígidos con perfiles tubulares	
S3	Estructura de marcos arriostrados con vigas en I	

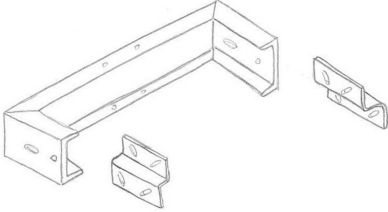
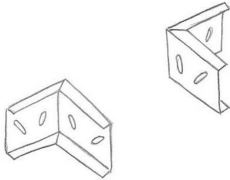
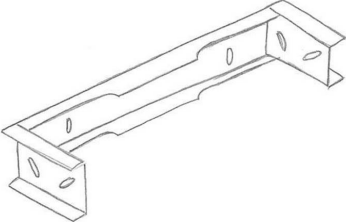
En la tabla 4 se analizan las posibles soluciones al cerramiento de la estructura, el cual protegerá el sistema de elevación y todos sus componentes del viento, el agua, el polvo, etc. Cabe anotar que deben ser materiales resistentes a dichos elementos y a posibles actos de vandalismo o accidentes que puedan dejar al ascensor desprotegido.

Tabla 4: Alternativas para proteger los componentes del interior de la estructura

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
P1	Usando vidrios templados o laminados	
P2	Por medio de lámina metálica	
P3	Por medio de drywall o acrílico	

En la tabla 5 se observan las posibles soluciones que servirían para transmitir el peso del carro a la estructura. Como se mencionó anteriormente, el carro se mueve a través de las guías, las cuales por norma deben ser en dos tramos a través de todo el recorrido, por ende, éstas deben ir sujetas a la estructura de alguna forma.

Tabla 5: Alternativas para transmitir las fuerzas producidas por el carro a la estructura

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ESQUEMA
T1	Tres tramos de perfil en C soldados y dos anclajes en lámina	
T2	Un perfil completo en lámina doblada	
T3	Dos soportes tubulares y dos anclajes soldados	

7.3.4. Combinación de principios funcionales. Una vez se tienen identificados los portadores de funciones, se deben escoger combinaciones entre ellos que satisfagan el funcionamiento o los requerimientos del sistema para comenzar a dar forma al concepto final. Cabe anotar que se deben escoger combinaciones que sean compatibles, es decir, que no resulten muy costosas de fabricar o que las diferentes partes no se acoplen debidamente. La matriz morfológica de la tabla 6 muestra estas combinaciones.

Tabla 6: Matriz morfológica

FUNCIÓN	ALTERNATIVA		
	1	2	3
FIJAR			
SOPORTAR			
PROTEGER			
TRANSMITIR			

Figura 18: Rutas de la matriz morfológica

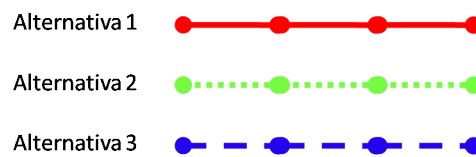


Figura 19: Combinación de principios funcionales 1

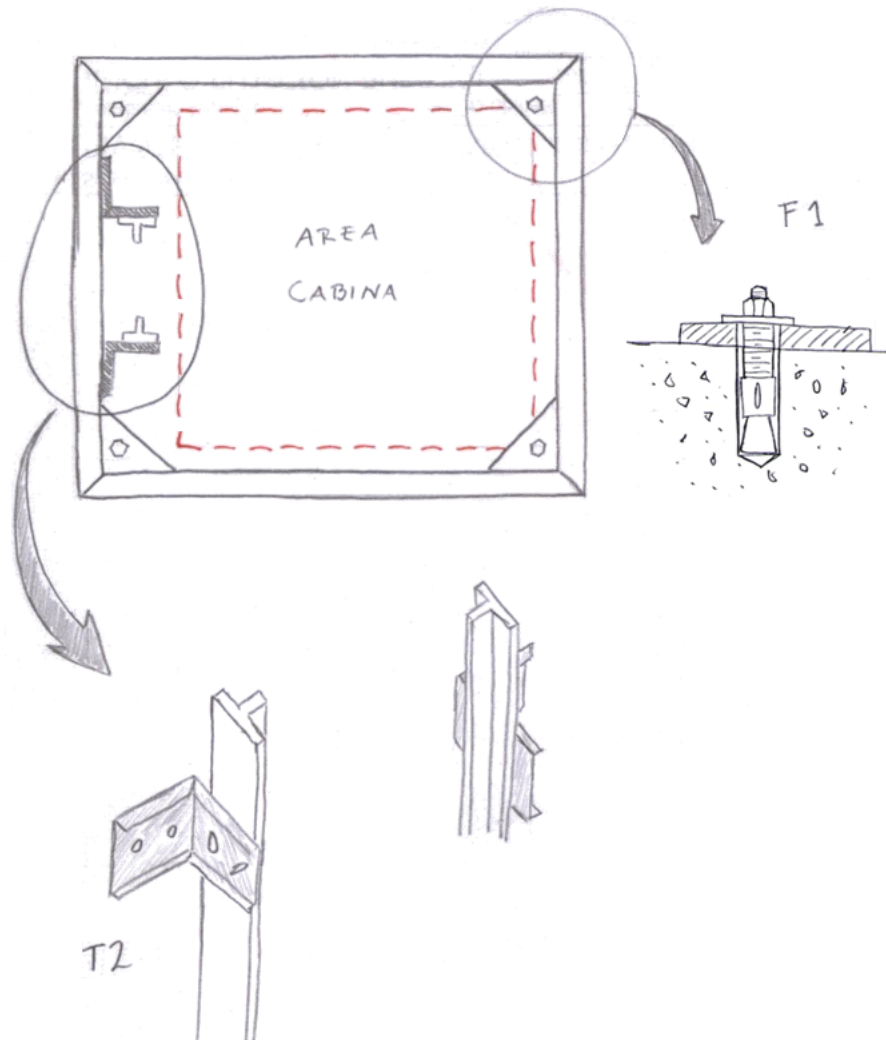


Figura 20: Combinación de principios funcionales 2

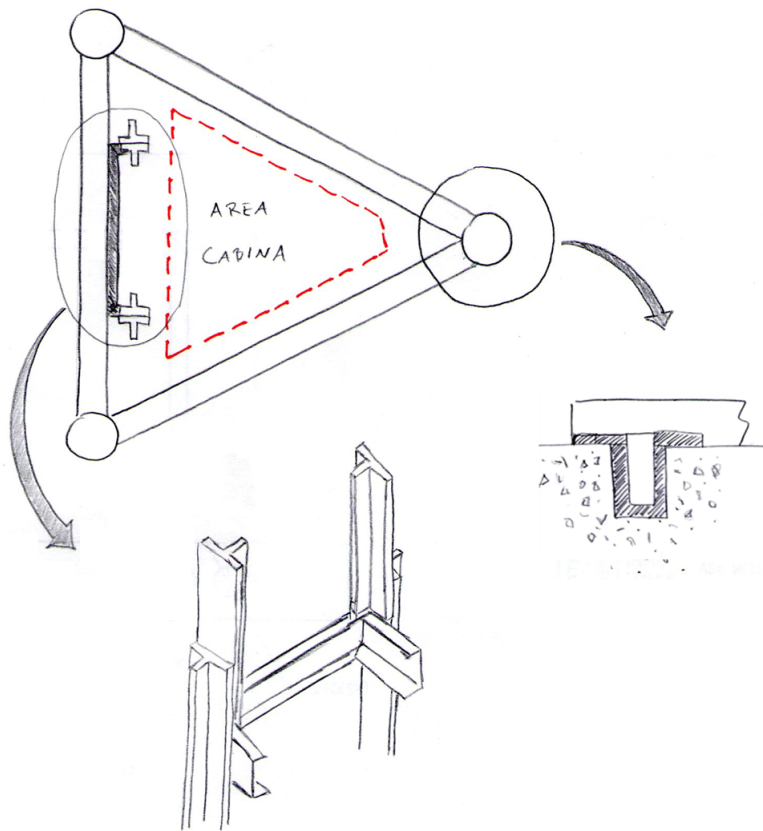
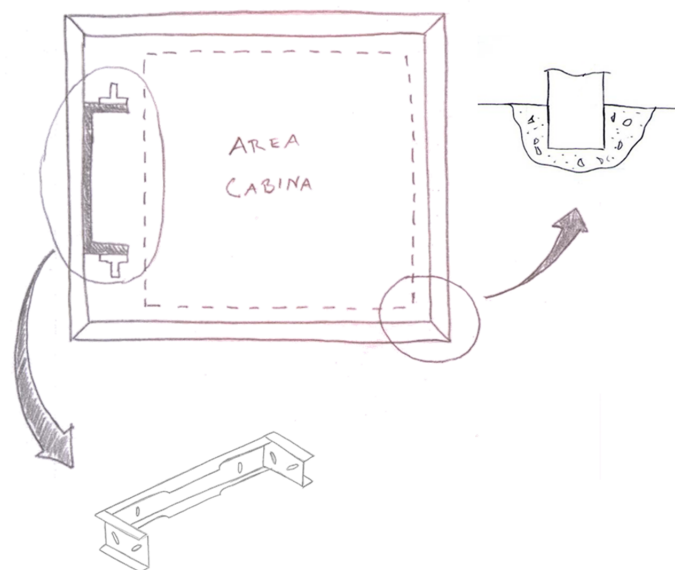


Figura 21: Combinación de principios funcionales 3



7.3.5. Evaluación de alternativas. La evaluación de alternativas es un procedimiento que sirve para decidir cual de las propuestas obtenidas de la combinación de principios funcionales es “la mejor”. Puede hacerse por intuición, experiencia, simple simpatía del diseñador o por requerimientos específicos del cliente. Para el caso del presente proyecto, se definirá una serie de parámetros de evaluación basada en los requerimientos ya mencionados, lo cual permitirá la posterior evaluación de su validez.

Las tablas 7, 8 y 9 muestran respectivamente la evaluación de las tres alternativas de diseño seleccionadas. Cada criterio tiene un peso relativo (1 a 100%) y cada uno de éstos se divide en características que reciben una calificación de 1 a 10. El valor obtenido se multiplica por un factor de ponderación para obtener finalmente un valor de utilidad.

Debido a la naturaleza del problema, a los factores de fabricación y ensamble e instalación se les asignaron pesos relativamente más altos. Esto debido a que es muy importante que el diseño final sea fácil de producir en la planta y su instalación final en obra sea rápida y sencilla, con el fin de ofrecer mejores tiempos de entrega a los clientes.

Tabla 7: Evaluación de la alternativa 1

	CRITERIO	PESO (W)	S	U	OBSERVACIONES
1	FABRICACIÓN	30 %		2,34	
	Susceptible a Automatización/Programación	4 %	8	0,32	Los perfiles son en lámina doblada (fáciles de programar)
	Generación de desperdicio	3 %	8	0,24	Permite el aprovechamiento de sobrantes
	Utillaje/herramientas requeridas	3 %	8	0,24	Uso de herramientas automáticas y propias de la empresa
	Cantidad de procesos utilizados	6 %	8	0,48	Corte, soldadura, punzonado, doblado, pintura
	Grado de dificultad de las partes	5 %	7	0,35	Se trabaja con tabla de medidas permitidas
	Grado de dificultad de pintura	5 %	7	0,35	Ángulos difíciles de alcanzar
	Procesos con terceros	4 %	9	0,36	Procesos que puedan hacerse en la empresa
2	ENSAMBLE / INSTALACIÓN	25 %		1,93	
	Facilidad de instalación en obra	10 %	8	0,80	Fácil de instalar. No requiere otros procesos (corte o soldadura)
	Manipulación	7 %	7	0,49	Partes livianas. Máx. 2 personas para cargar
	Composición	5 %	8	0,40	Subensambles. Poca cantidad de piezas
	Chequeo	3 %	8	0,24	Piezas grandes, fáciles de verificar
3	DESEMPEÑO	20 %		1,65	
	Factores que afecten su funcionalidad	5 %	9	0,45	Solo varían las longitudes de las columnas
	Capacidad para soportar las fuerzas	10 %	8	0,80	Configuración de estructuras conocidas
	Confiable	5 %	8	0,40	Elementos y uniones rígidas. F.S. alto
4	FACTOR ECONÓMICO	10 %		0,80	
	Valor de la materia prima	10 %	8	0,80	Láminas comerciales y de uso cotidiano
5	FACTOR ESTÉTICO	15 %		1,35	
	Presentación de la estructura	15 %	9	1,35	Fachadas más limpias. Tamaño adecuado para la cabina
	UTILIDAD TOTAL	100 %		8,07	

Tabla 8: Evaluación de la alternativa 2

	CRITERIO	PESO (W)	S	U	OBSERVACIONES
1	FABRICACIÓN	30 %		1,81	
	Susceptible a Automatización/Programación	4 %	4	0,16	Perfiles tubulares. No permiten uso de máquinas CNC
	Generación de desperdicio	3 %	4	0,12	Sobrantes no muy útiles para Coservicios
	Uillaje/herramientas requeridas	3 %	4	0,12	Uso de herramientas manuales y automáticas
	Cantidad de procesos utilizados	6 %	8	0,48	Corte, perforado, soldadura, pintura
	Grado de dificultad de las partes	5 %	6	0,30	Fáciles de cortar, difíciles de perforar
	Grado de dificultad de pintura	5 %	7	0,35	La tubería circular es fácil de pintar
	Procesos con terceros	4 %	7	0,28	Procesos que puedan hacerse en la empresa
2	ENSAMBLE / INSTALACIÓN	25 %		1,83	
	Facilidad de instalación en obra	10 %	8	0,80	Fácil de instalar. No requiere otros procesos (corte o soldadura)
	Manipulación	7 %	7	0,49	Partes livianas. Máx. 2 personas para cargar
	Composición	5 %	6	0,30	Pocos subensambles. Más piezas
	Chequeo	3 %	8	0,24	Piezas grandes, fáciles de verificar
3	DESEMPEÑO	20 %		1,60	
	Factores que afecten su funcionalidad	5 %	8	0,40	Solo varían las longitudes de las columnas
	Capacidad para soportar las fuerzas	10 %	8	0,80	Configuración de estructuras conocidas
	Confiable	5 %	8	0,40	Elementos y uniones rígidas. F.S. alto
4	FACTOR ECONÓMICO	10 %		0,70	
	Valor de la materia prima	10 %	7	0,70	Tubería comercial de fácil consecución
5	FACTOR ESTÉTICO	15 %		1,05	
	Presentación de la estructura	15 %	7	1,05	Requiere mucho espacio. La tubería circular es muy robusta
	UTILIDAD TOTAL	100 %		6,99	

Tabla 9: Evaluación de la alternativa 3

	CRITERIO	PESO (W)	S	U	OBSERVACIONES
1	FABRICACIÓN	30 %		1,96	
	Susceptible a Automatización/Programación	4 %	6	0,24	Por ser vigas se pueden hacer plantillas, pero no se pueden utilizar máquinas CNC
	Generación de desperdicio	3 %	4	0,12	Sobrantes no muy útiles para Coservicios
	Uillaje/herramientas requeridas	3 %	5	0,15	Uso de herramientas manuales y automáticas
	Cantidad de procesos utilizados	6 %	8	0,48	Corte, perforado, soldadura, pintura
	Grado de dificultad de las partes	5 %	6	0,30	Fáciles de cortar, difíciles de perforar
	Grado de dificultad de pintura	5 %	7	0,35	Perfiles fáciles de pintar
	Procesos con terceros	4 %	8	0,32	Procesos que puedan hacerse en la empresa
2	ENSAMBLE / INSTALACIÓN	25 %		1,51	
	Facilidad de instalación en obra	10 %	6	0,60	Puede requerir otros procesos (corte o soldadura)
	Manipulación	7 %	6	0,42	Los perfiles estructurales son más pesados
	Composición	5 %	5	0,25	No se pueden hacer subensambles. Existencia de más piezas
	Chequeo	3 %	8	0,24	Piezas grandes, fáciles de verificar
3	DESEMPEÑO	20 %		1,60	
	Factores que afecten su funcionalidad	5 %	8	0,40	Varían las longitudes de las columnas y las riostras
	Capacidad para soportar las fuerzas	10 %	8	0,80	Configuración de estructuras conocidas
	Confiable	5 %	8	0,40	Elementos y uniones rígidas. F.S. alto
4	FACTOR ECONÓMICO	10 %		0,70	
	Valor de la materia prima	10 %	7	0,70	Perfilería comercial de fácil consecución
5	FACTOR ESTÉTICO	15 %		1,20	
	Presentación de la estructura	15 %	8	1,20	Muchos componentes. Fachadas interrumpidas
	UTILIDAD TOTAL	100 %		6,97	

Como podemos observar, la alternativa 1 fue la que alcanzó un valor de utilidad más elevado (8,07), por lo tanto, será la propuesta a desarrollar con mayor detalle a continuación.

7.4. DISEÑO PARA DAR FORMA

7.4.1. Concepto del producto. Una vez seleccionada la combinación de principios que mejor satisface los requerimientos de diseño, se procede a conceptualizar el producto definiendo algunas fronteras y asignando una geometría básica.

Las partes a diseñar y algunas consideraciones que se deben tener en cuenta son:

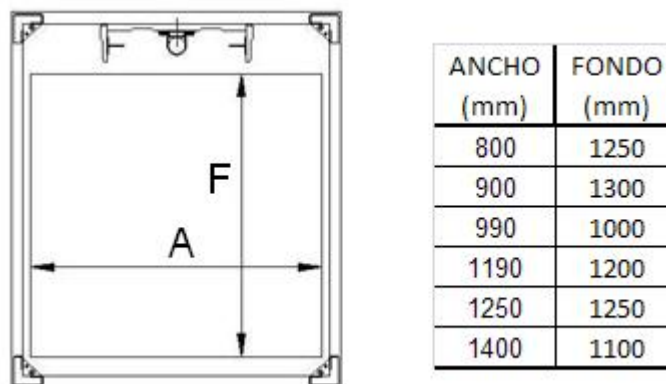
Base de la estructura: las medidas internas de la base (y por lo tanto de toda la estructura) deben ser tales que el espacio máximo entre los paneles de cabina y ésta no supere los 20 mm (ver anexo E).

Las medidas externas deben ser las mínimas posibles para no ocupar un espacio significativo en el lugar de instalación.

Debe tener mínimo 4 puntos donde se puedan instalar los pernos de expansión.

En la figura 22 se muestran las diferentes medidas de cabina que ofrece Coservicios para estos equipos. Por efectos de simplicidad, la estructura que se analizará en este proyecto será para las cabinas de 1250 x 1250 mm.

Figura 22: Medidas de cabinas para HPMR



Columnas: la opción seleccionada deberá tener columnas con secciones que eviten las turbulencias producidas por el viento en caso de estar a la intemperie. El diseño de

estas secciones debe cumplir con las medidas mínimas entre dobleces que permiten las herramientas de la compañía (ver tabla reftab:dobleces-coser) y teniendo en cuenta el menor desperdicio de material.

Tabla 10: Dobleces permitidos en Coservicios

Calibre (mm)	Mín medida exterior (mm)
1	9
1.5	10.5
2	12
3	15
4.5	40
6	43

Fuente: Supervisor de producción de Coservicios

La longitud de las columnas está limitada por dos condiciones:

- la distancia entre losas que tengan los edificios en los cuales se instalará la estructura.
- la longitud de las láminas de acero (materia prima), las cuales vienen de 2440 y 3000 mm.

El perfil de las columnas para la estructura se muestra en la figura 23. Su sección en forma de "L" permite optimizar los espacios tanto al interior como al exterior de las estructuras.

Figura 23: Geometría para las columnas de la estructura



Vigas: al igual que las columnas, se deben procurar diseñar con secciones cerradas. Su longitud está dada por la distancia que exista entre dos columnas adyacentes.

En la figura 24 se muestra el perfil diseñado para las vigas. Su diseño tiene en cuenta la reducción de espacio libre al interior de las estructuras, ya que como las cabinas que viajan por dentro de éstas no necesitan puertas, no deben existir aberturas que puedan causar accidentes durante el recorrido.

Figura 24: Geometría para las vigas de la estructura



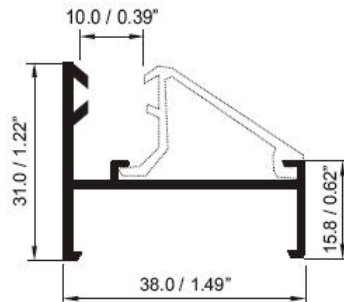
Soportes para los elementos del cerramiento: la manera en que se sujeten los vidrios del cerramiento debe permitir una instalación rápida y segura, a fin de agilizar el proceso de ensamble general de todos los componentes.

Luego de observar diferentes soluciones que se adoptan en edificios, centros comerciales, etc., se decidió que la mejor manera era utilizando marcos con perfiles

en aluminio, los cuales son livianos, fáciles de trabajar y de fáciles de conseguir.

Los perfiles seleccionados son muy utilizados en ventanería en general y permiten un fácil desensamble en caso de ruptura de un vidrio.

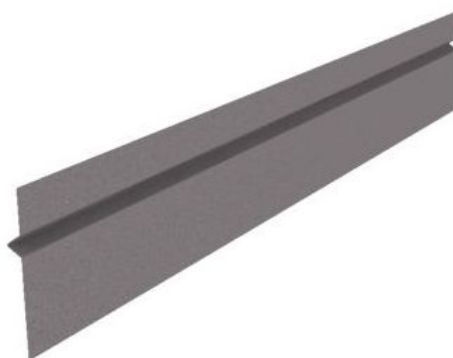
Figura 25: Perfiles de aluminio para los vidrios del cerramiento



Fuente: Catálogo de proveedor de Coservicios.

Para asegurar los marcos completos de aluminio, incluyendo los vidrios, se diseñó una especie de tapa en lámina metálica, que permite asegurarlos fácilmente con tornillos y que a su vez cubre los espacios que quedan en las vigas de la estructura.

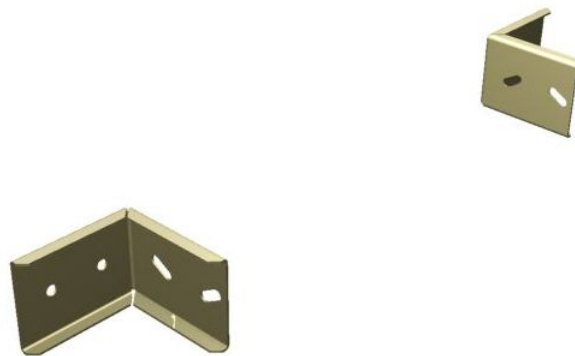
Figura 26: Tapa para asegurar los marcos con vidrios



Anclajes para las guías del carro: a diferencia de los equipos TL y MRL, las guías para

los ascensores que irán en las estructuras autoportantes no están en el centro de la cabina ni unidas al pozo de concreto, sino que se encuentran a un costado o atrás de la estructura y requieren una distancia entre ellas menor. Por lo tanto, se requiere un diseño diferente que permita variabilidad sin generar muchos anclajes como se hace en los equipos estándares.

Figura 27: Anclajes para cabinas HPMR



Este diseño de anclajes, permite variar fácilmente la distancia entre guías de acuerdo a la cabina que se requiera, sin necesidad de cambios de ningún tipo, además ahorra espacio importante en la estructura para el recorrido del pistón y el bastidor.

7.4.2. Forma final del producto. Las figuras 28, 29 y 30 muestran una representación esquemática de la base, los anclajes y el ensamble general de la estructura respectivamente.

Figura 28: Base de la estructura

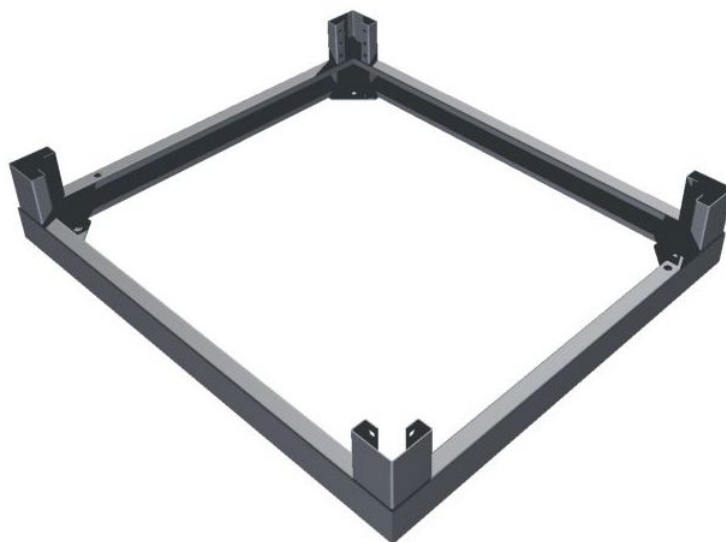


Figura 29: Estructura, anclajes y guías



Figura 30: Ensamble general de una estructura autoportante



7.5. DISEÑO DE DETALLE

Para verificar la estabilidad de la estructura se realizó un Análisis de Elementos Finitos con ayuda del software Inventor Professional 2010.

Para la simplicidad del cálculo se analizó solo una de las primeras columnas de la estructura y se tomaron dos consideraciones principales:

- El peso propio de la estructura más el del cerramiento de vidrios se repartió por igual en las cuatro primeras columnas.
- El peso completo del carro se repartió en las dos primeras columnas en que se apoyan las guías.

Las propiedades del material seleccionado fueron tomadas del libro Mecánica de materiales de R.C, Hibbeler para un acero estructural A36 y se muestran en la figura 31,

Figura 31: Propiedades del material de las columnas

Name	Acero estructural A36	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	250 MPa
	Ultimate Tensile Strength	400 MPa
Stress	Young's Modulus	200 GPa
	Poisson's Ratio	0,32 ul
	Shear Modulus	75,7576 GPa

Las condiciones de operación fueron las siguientes:

- La columna se restringió por completo en su base.
- Se asumió que tanto los pernos superiores como los inferiores impedían el movimiento en los ejes $Y - Z$.
- Las cargas, calculadas de la siguiente manera se aplicaron sobre la cara superior de la columna (ver figura 32):

Carga 1: peso de la estructura más el cerramiento = $2100kg$.

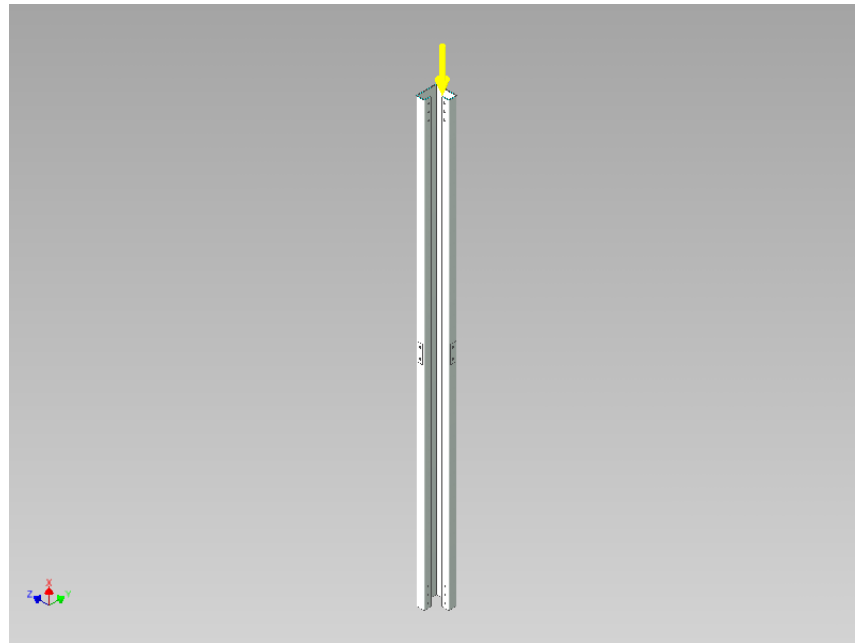
$$F_1 = \frac{2100kg}{4} \times 9,81m/s^2 = 5150N \quad (7.1)$$

Carga 2: la carga más crítica es en el caso de accionamiento del paracaídas de seguridad del ascensor debido al rompimiento de uno de los cables de tracción. Este dato fue tomado directamente del software de cálculo entregado por el proveedor de guías.

$$F_2 = 9334N \quad (7.2)$$

$$F_1 + F_2 = F_T = 14484N \quad (7.3)$$

Figura 32: Condiciones de operación para el cálculo de las columnas



Resultados:

Figura 33: Resultados generales del análisis

Name	Minimum	Maximum
Mass	31,4796 kg	
Von Mises Stress	0,42385 MPa	25,5378 MPa
1st Principal Stress	-8,55116 MPa	7,13162 MPa
3rd Principal Stress	-29,3802 MPa	1,02498 MPa
Displacement	0 mm	0,16267 mm
Safety Factor	9,78941 ul	15 ul
X Displacement	-0,162669 mm	0 mm
Y Displacement	-0,00303814 mm	0,0030268 mm
Z Displacement	-0,00302101 mm	0,00295667 mm

Figura 34: Esfuerzo de Von Mises

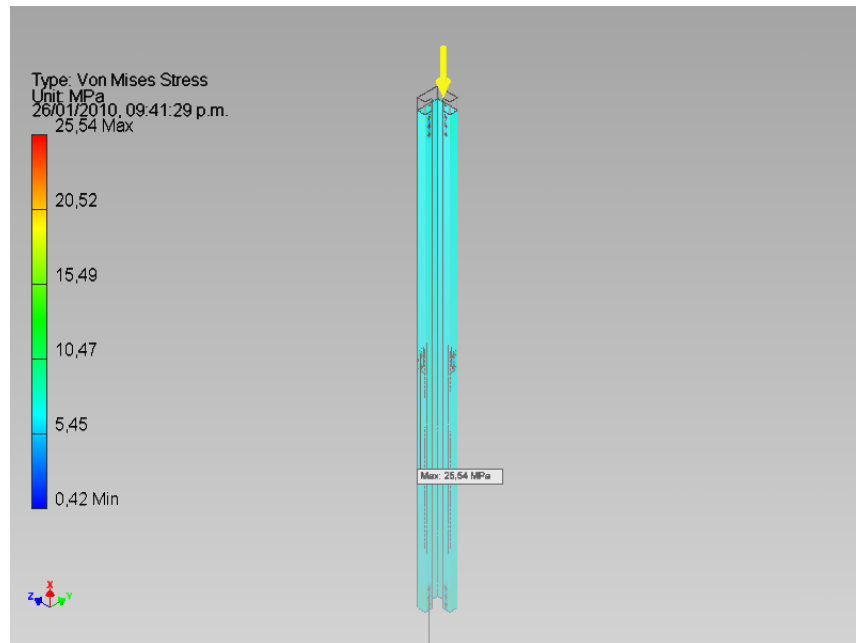


Figura 35: Primer esfuerzo principal

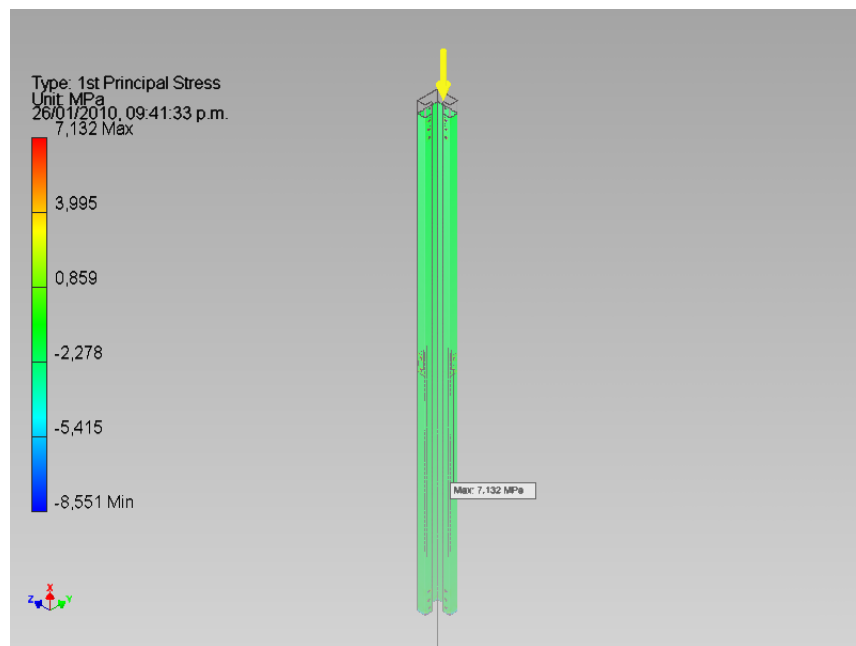


Figura 36: Desplazamientos

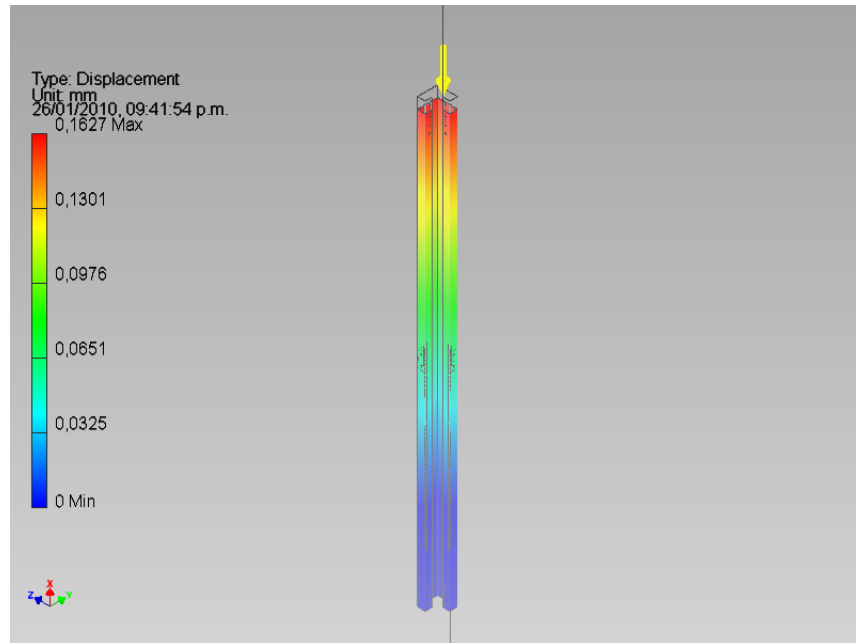
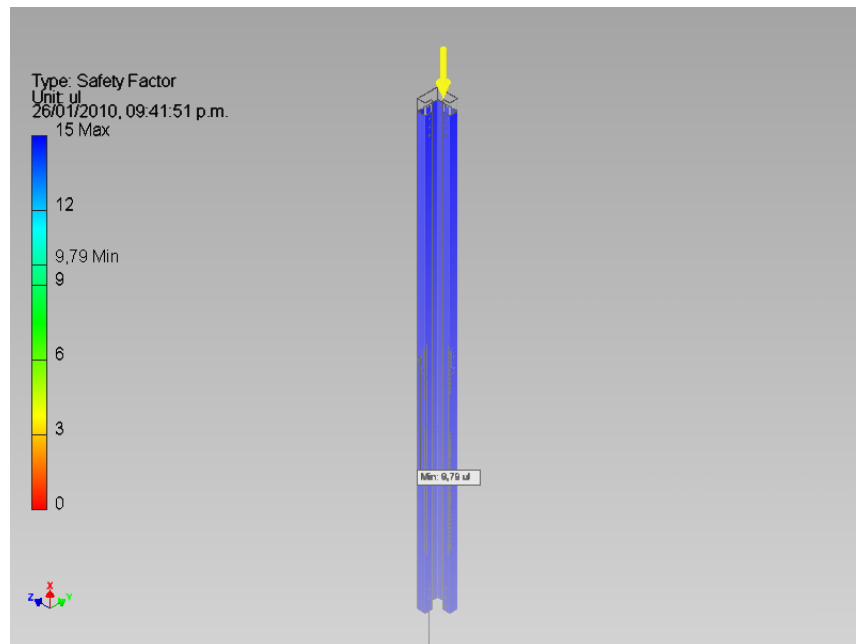


Figura 37: Factor de seguridad



Al observar cada una de estas gráficas se puede ver claramente que tanto el material como la geometría de las columnas son apropiados para esta aplicación. Los esfuerzos

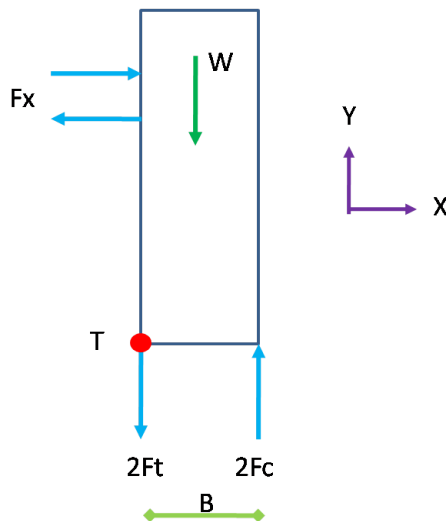
y deformaciones están por debajo de los límites, lo cual demuestra que la estabilidad de la estructura se conservará aún en el caso de accionamiento del paracaídas sin mayores consecuencias.

Cabe aclarar que las uniones realizadas con pernos entre anillos y columnas no se han considerado en detalle dentro de este análisis, ya que los desplazamientos máximos de la estructura no superan 1mm. Si se analizan estas juntas, los desplazamientos relativos son mínimos, sin embargo, se recomienda analizar posteriormente en obra el comportamiento de estas juntas, para evaluar y validar si se pueden disminuir la cantidad de pernos y/o su dimensión.

7.5.1. Selección de anclajes de expansión. Para la selección de los anclajes que se utilizarán para fijar la base de la estructura al piso, se tomó en cuenta de nuevo uno de los datos arrojados por el software del cálculo de guías en el caso de accionamiento del paracaídas.

Este valor genera un momento en la estructura que permite hallar las reacciones que deberán soportar los anclajes, así:

Figura 38: Diagrama de cuerpo libre de la estructura



F_X es el valor arrojado por el software de guías = 4060N

W es el peso propio de la estructura más el cerramiento de vidrios = 20601N

B es la medida del fondo de la estructura = 1,6m

F_T y F_C son las reacciones en la base que se quieren hallar.

Haciendo sumatoria de momentos en el punto T y de fuerzas en Y , tenemos:

$$\begin{aligned} \curvearrowright_+ \sum M_T &= -(F_X)(l) + (2F_C)(B) - W\frac{(B)}{2} = 0 \\ F_C &= \frac{F_X l}{2B} + \frac{W}{4} \end{aligned} \quad (7.4)$$

Reemplazando:

$$\begin{aligned} F_C &= \frac{(4060N)(1,5m)}{2(1,6m)} + \frac{20601N}{4} \\ F_C &= 7053N \end{aligned} \quad (7.5)$$

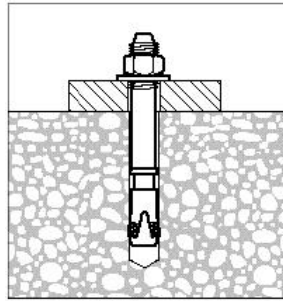
Haciendo sumatoria de fuerzas en Y hallamos F_T :

$$\begin{aligned} + \uparrow \sum F_Y &= 2F_C - 2F_T - W = 0 \\ F_T &= F_C - \frac{W}{2} \\ F_T &= -3247N \end{aligned} \quad (7.6)$$

Conociendo los valores de F_T y F_C , podemos proseguir a la selección de los anclajes de expansión que estamos buscando. Esta selección se hace por medio de tablas que

provee el catálogo de productos de la marca utilizada por Coservicios (ver anexo F), según el cual, el anclaje mínimo requerido para los valores que tenemos es el Kwik Bolt 3 de acero al carbono de 1/2 pulgada (12,7 mm) (figura 39), ya que tiene una carga permisible de tensión de $9,5kN$.

Figura 39: Anclaje Kwik Bolt 3



Fuente: Catálogo de productos Hilti

8. CONCLUSIONES

Una buena manera de iniciar cualquier proyecto de diseño es consultando información que permita sentar bases sobre el producto que se desea. La búsqueda en internet, catálogos de diferentes marcas de ascensores y sobre todo las visitas a obras, permitieron esclarecer el problema desde un principio e identificar factores relevantes como geometrías y materiales en el proceso de diseño de las estructuras autoportantes.

El conocimiento de las fronteras que limitan el diseño, así como de las demandas y deseos de la empresa y los clientes, permitieron presentar finalmente una propuesta que satisface dichos requerimientos y cumple con la normativa estipulada.

El hecho de emplear una matriz morfológica facilitó el análisis de las opciones que se tenían antes de entrar en detalles y agilizó el proceso de generación de alternativas.

La construcción de un prototipo real permitió la retroalimentación y validación de la propuesta escogida. Las opiniones tomadas del personal de producción y ensamble ayudaron a mejorar el diseño e ir formando la experiencia que se busca día a día.

9. RECOMENDACIONES

Evaluar la posibilidad de utilizar calibres de lámina más delgados en función de la altura de cada estructura, es decir, se puede comenzar una estructura con calibres de lámina como 11 (3 mm), de X metros en adelante, seguir con calibre 14 (2 mm) y de Y metros en adelante, culminar con calibre 16 (1.5 mm), por ejemplo. Esto con el fin de disminuir costos por materiales y peso de componentes en general.

Con la creciente implementación de leyes y normativas a nivel nacional e internacional que ayudan a las personas con movilidad reducida a mejorar su calidad de vida, se está abriendo un nicho de mercado que Coservicios debe aprovechar para desarrollar nuevos productos y ampliar su catálogo, aprovechando su experiencia y conocimiento.

Gracias al uso de una herramienta CAD que permitió hacer el Análisis por Elementos Finitos, fue posible lograr resultados confiables para la estabilidad de la estructura, sin embargo se recomienda retomar estos cálculos y profundizar en aquellos que no se tomaron en cuenta en el alcance de este proyecto como por ejemplo las fuerzas producidas por el viento.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO VÉLEZ, Mauricio. Diseño de una bancada para ascensores con cuarto de máquinas para la empresa Coservicios S.A. Medellín, 2006, 196 p. Trabajo de grado (Ingeniero de Diseño de Producto). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Parte 1: Ascensores eléctricos. Madrid: AENOR, 2001. 177 p. (UNE-EN 81-1)

_____. . _____. Parte 2: Ascensores hidráulicos. Madrid: AENOR, 2001. 185 p. (UNE-EN 81-2)

_____. . _____. Aplicaciones particulares para los ascensores de pasajeros y pasajeros y cargas. Parte 70: Accesibilidad a los ascensores de personas, incluyendo personas con discapacidad. Madrid: AENOR, 2004. 35 p. (UNE-EN 81-70)

CROSS, Nigel. Engineering Design Methods: Strategies for Product Design. 2nd ed. Chichester: Wiley, 1994. 179 p. ISBN 0 471 94228 6

DICTATOR ESPAÑOLA. Estructura modular polivalente Dictator para ascensores: Sistema modular para edificios existentes o de nueva construcción. [Documento electrónico]. (Citada: 13 marzo 2009) <<http://www.dictator.es/capitol-2.htm>>

ESCOBAR MEDINA, Esteban. Diseño de un contrapeso para elevadores a tracción de la empresa Coservicios S.A. Medellín, 2006, 167 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de ingenierías. Facultad de Ingeniería Mecánica.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Safety rules for the construction and installation of lifts - Special lifts for the transport of persons and goods - Part 41: Vertical lifting platforms intended for use by persons with impaired mobility. Brussels: CEN, 2008. 97 p. (prEN 81-41)

GALLEGO HENAO, Andrés Uriel. Decreto número 1660 de 2003 [Documento electrónico]. Bogotá: Ministerio de Transporte. 16 junio de 2003. (Citada: 18 marzo 2009) <http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Normas/archivo/Decreto_1660_2003.pdf>

HIBBELER, R.C. Mecánica de materiales. 3 ed. México, Prentice-Hall, 1998. 856 p. ISBN 0-13-256983-3.

HILTI, INC. Hilti Norteamérica Kwik Bolt 3. Suplemento Guía Técnica de Producto: Guía para especificaciones e Instalación. Tulsa. Hilti Corporation. 2005. 22 p.

MUÑOZ VASQUEZ, Luís Alejandro. Diseño de un bastidor de cabina para equipos de tracción con suspensión 1:1 para la empresa Coservicios S.A. Medellín, 2007, 163 p. Trabajo de grado (Ingeniero de Diseño de Producto). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto.

OTIS ELEVATOR COMPANY. Ascensores para edificios sin ascensor. [Documento electrónico]. Madrid. (Citada: 20 marzo 2009) <<http://www.otis.com/site/es-es1/Pages/BEXX.aspx>>

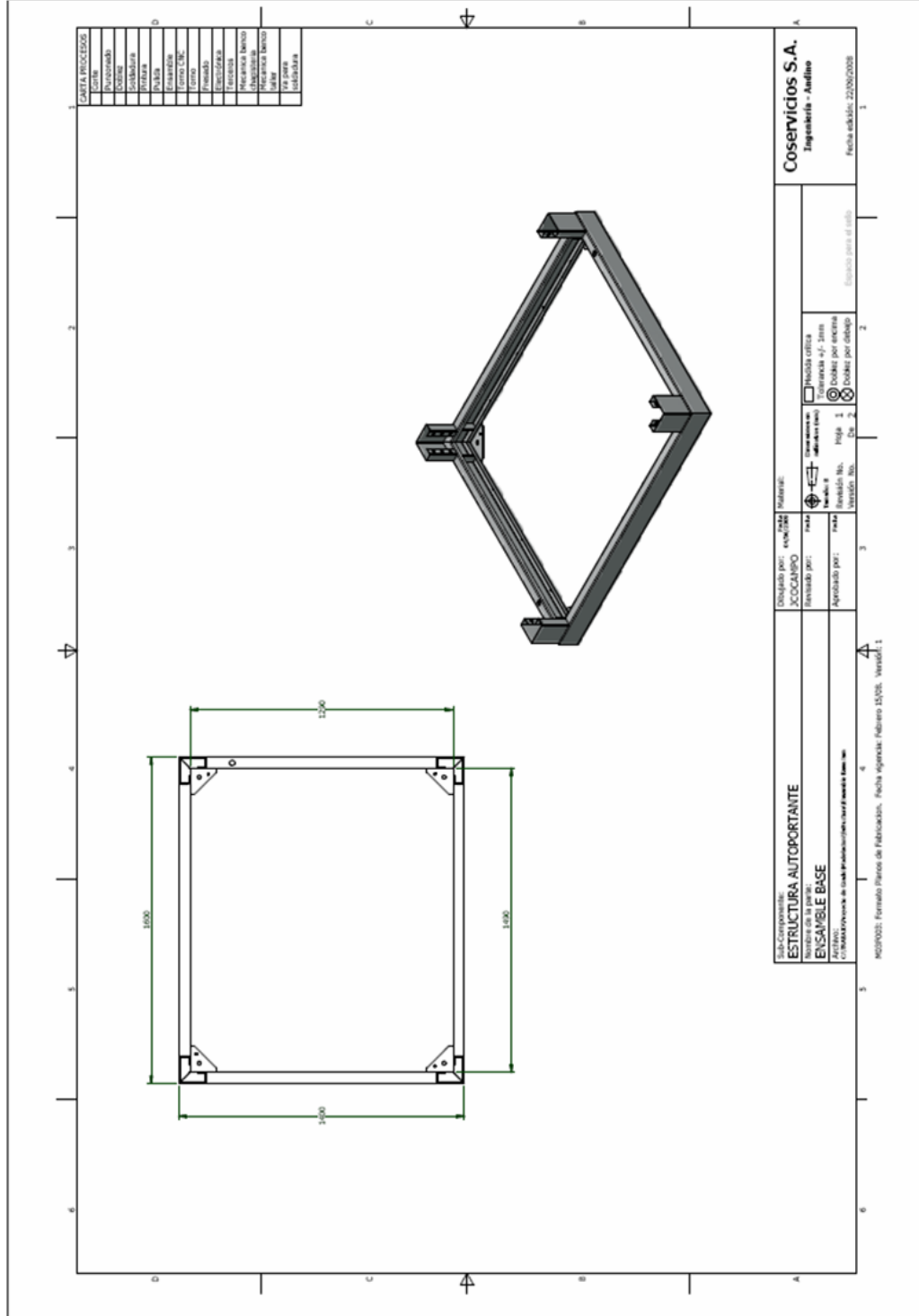
PAHL, Gerhard and BEITZ, Wolfgang. Engineering design: a systematic approach. London: The Design Council, 1988. 397 p. ISBN 0 85072 239 X

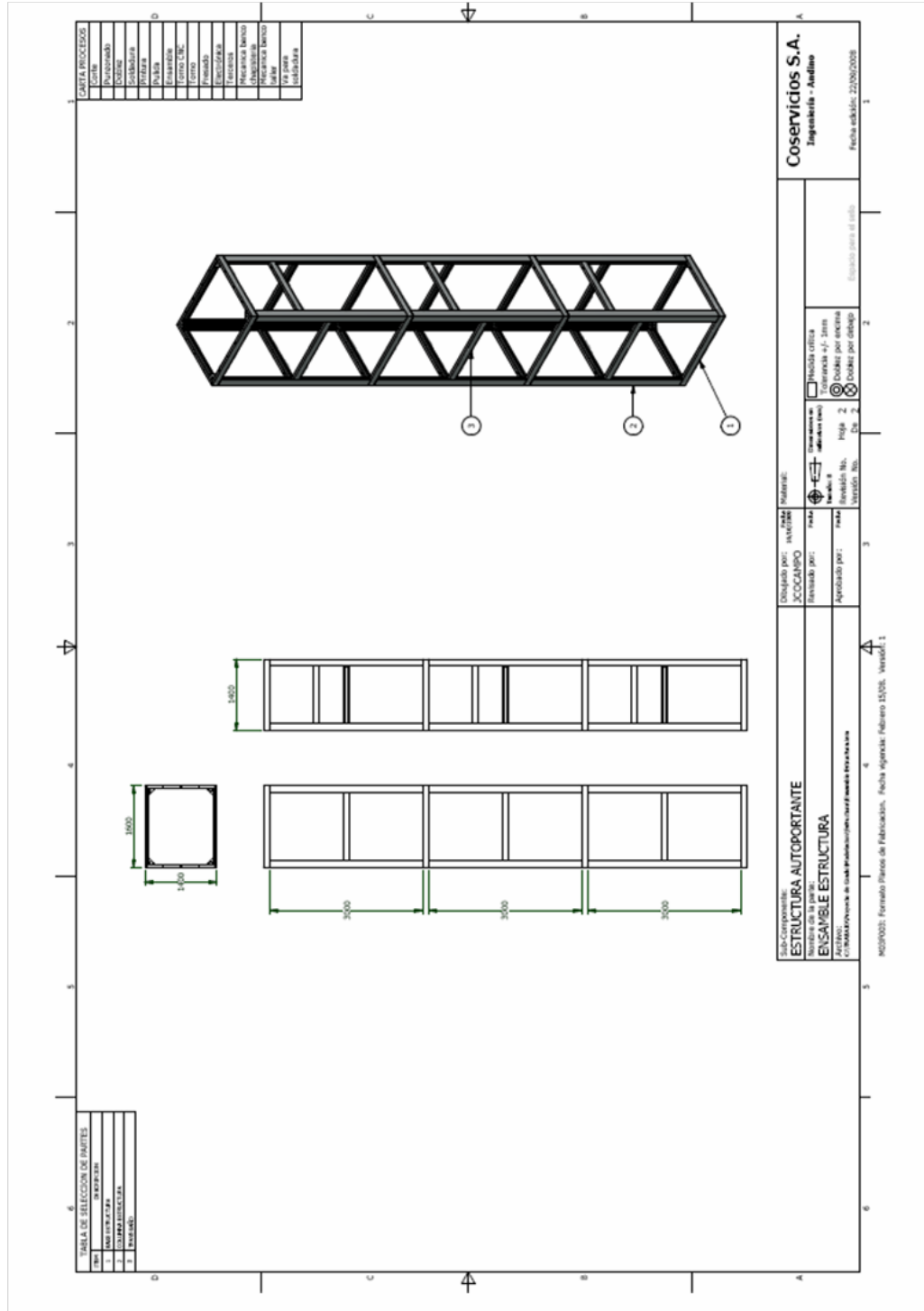
PORRAS, Gabriel. Accesibilidad en el Mundo Real y Virtual [Documento electrónico]. Blog and Web. Octubre 02 2006. (Citada: 20 marzo 2009) <<http://www.estandaresyaccesibilidad.com/2006/10/accesibilidad-en-el-mundo-real-y.html>>

SUMINISTRADORA DE ASCENSORES S.A. Estructura autoportante modular para el hueco del ascensor: estructura modular Sumasa [Documento electrónico]. Barcelona. 2005. (Citada: 24 marzo 2009) <<http://www.e-sumasa.com/plantilla.asp?cap=cap1&menuSup=cataleg&menuEsq=estructuras&menuDreta=cataleg&fonsDreta=Verd&principal=estructuras&title=Estructura%20autoportante%20modular%20para%20el%20hueco%20del%20ascensor>>

VIMEC. Accesibilidad. Productos accesibilidad. [Documento electrónico]. Luzzara. (Citada: 13 marzo 2009) <<http://www.vimec.biz/accesibilidad/>>

ANEXO A. PLANOS DE ENSAMBLE GENERAL DE LA ESTRUCTURA





ANEXO B. FOTOS DEL PROTOTIPO INSTALADO EN COSERVICIOS

Figura 40: Detalle de la base y el anclaje a piso



Figura 41: Base y primera columna



Figura 42: Primer módulo de columnas



Figura 43: Primer módulo de columnas con anillo



Figura 44: Estructura completa de dos niveles



ANEXO C. TORQUE DE SERVICIO PARA TORNILLOS MILIMÉTRICOS

Diámetro nominal (Nominal diameter)	Paso de la rosca (Pitch)	Clase de resistencia (Property class)			
		5.8	8.8	9.8	10.9
5	0,8	0.26 - 0.35	0.39 - 0.52	0.44 - 0.58	0.56 - 0.77
6	1	0.45 - 0.60	0.67 - 0.91	0.75 - 1.00	0.98 - 1.34
7	1	0.73 - 1.00	1.10 - 1.50	1.24 - 1.70	1.60 - 2.20
8	1	1.20 - 1.60	1.80 - 2.40	2.00 - 2.70	2.60 - 3.50
8	1,25	1.10 - 1.50	1.60 - 2.20	1.80 - 2.50	2.30 - 3.20
10	1	2.40 - 3.30	3.60 - 4.90	4.10 - 5.50	5.30 - 7.20
10	1,25	2.30 - 3.10	3.40 - 4.70	3.80 - 5.20	5.00 - 6.80
10	1,5	2.10 - 2.90	3.20 - 4.40	3.60 - 5.00	4.70 - 6.50
12	1,25	4.10 - 5.60	6.10 - 8.40	6.90 - 9.40	9.00 - 12.30
12	1,5	3.90 - 5.20	5.90 - 8.00	6.60 - 9.00	8.60 - 11.70
12	1,75	3.60 - 5.00	5.50 - 7.60	6.20 - 8.50	8.10 - 11.10
14	1,5	6.50 - 8.80	9.70 - 13.20	10.90 - 14.90	14.20 - 19.40
14	2	5.90 - 8.00	8.90 - 12.10	10.00 - 13.60	13.10 - 17.80
16	1,5	9.90 - 13.50	14.90 - 20.30	16.80 - 22.80	21.90 - 29.80
16	2	9.10 - 12.50	13.80 - 18.90	15.15 - 21.30	20.40 - 27.80
18	1,5	14.40 - 19.80	21.80 - 29.70	24.50 - 33.40	32.00 - 43.60
18	2,5	12.60 - 17.40	19.10 - 26.10	21.50 - 29.40	28.10 - 38.40
20	1,5	20.10 - 27.50	30.40 - 41.40	34.20 - 46.60	44.60 - 60.90
20	2,5	18.00 - 24.50	27.10 - 37.00	30.50 - 41.60	39.90 - 54.40
22	1,5	27.40 - 37.30	41.20 - 56.20	46.40 - 63.20	60.50 - 82.60
22	2,5	24.80 - 33.80	37.30 - 50.90	42.00 - 57.20	54.80 - 74.80
24	2	34.00 - 46.40	51.30 - 70.00	57.70 - 78.80	75.30 - 102.70
24	3	31.00 - 42.20	46.70 - 63.70	52.50 - 71.70	68.60 - 93.60
27	3	45.90 - 62.60	69.20 - 94.40	77.90 - 106.00	101.70 - 138.60

Fuente: Gutemberto S.A. Proveedor de tornillería de Coservicios

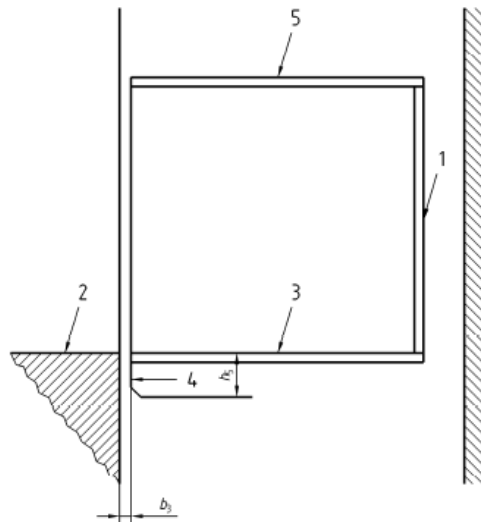
ANEXO D. CAPACIDAD Y DIMENSIONES DE LOS ASCENSORES PARA PMR

Principal use	Minimum plan dimensions (width x length)	Minimum rated load (kg)
Type A and B wheelchairs with an attendant and adjacent entrances	1100 x 1400	385
Type A and B wheelchairs with an attendant	900 x 1400	315
Lone user, either standing or in a type A wheelchair	800 x 1250	250

Fuente: Norma prEN 81-41:2008. p.19

ANEXO E. DIMENSIONES PERMITIDAS ENTRE PLATAFORMAS ELEVADORAS Y POZOS CERRADOS

prEN 81-41:2008 (E)



Key

- 1 platform wall
- 2 landing level
- 3 platform floor
- 4 toe guard
- 5 platform ceiling

Description	Subclause	Symbol	Dimension mm
Distance between enclosure and platform edges	5.9.2.4	b_3	≤ 20
Toe guard height	5.9.3	h_5	\geq Half of unlocking zone

**Figure 10b — Dimensions and clearances for lifting platform with enclosed lift-way
Platform with walls and ceiling**

5.9.3 A toe guard, which extends over the full width of the landing entrance it faces, shall be provided under each platform sill. The vertical dimensions of the toe guard shall be at least equal to half the unlocking zone (see Figure 10).

5.9.4 Floor covering

The floor covering of the platform shall be slip resistant and contrast in colour and luminance with landing surface. See Annex B (informative).

ANEXO F. TABLA DE SELECCIÓN DE ANCLAJES DE EXPANSIÓN HILTI

Figura 45: Cargas Permisibles para Kwik Bolt 3 de Acero al Carbono en Concreto

Diámetro del Anclaje pulg. (mm)	Prof. del Empotramiento pulg. (mm)	$f_c = 2000 \text{ psi (13.8 MPa)}$		$f_c = 3000 \text{ psi (20.7 MPa)}$		$f_c = 4000 \text{ psi (27.6 MPa)}$		$f_c = 6000 \text{ psi (41.4 MPa)}$	
		Tensión libras (kN)	Corte ¹ libras (kN)	Tensión libras (kN)	Corte ¹ libras (kN)	Tensión libras (kN)	Corte ¹ libras (kN)	Tensión libras (kN)	Corte ¹ libras (kN)
1/4 (6.4)	1-1/8 (29)	300 (1.3)	530 (2.4)	365 (1.6)	530 (2.4)	430 (1.9)	530 (2.4)	550 (2.4)	530 (2.4)
	2 (51)	635 (2.8)		715 (3.2)		800 (3.6)		845 (3.8)	
	3 (76)	755 (3.4)		795 (3.5)		840 (3.7)			
3/8 (9.5)	1-5/8 (41)	730 (3.2)	1135 (5)	910 (4)	1275 (5.7)	1095 (4.9)	1420 (6.3)	1090 (4.8)	1480 ³ (6.5)
	2-1/2 (64)	1260 (5.6)	1460 ⁶ (6.55)	1555 (6.9)	1460 ⁶ (6.5)	1850 (8.2)	1460 ⁶ (6.5)	2060 (9.2)	
	3-1/2 (89)	1580 (7)		1770 (7.9)		1965 (8.7)		2150 (9.6)	
1/2 (12.7)	2-1/4 (57)	1235 (5.5)	2235 (9.9)	1430 (6.4)	2485 (11.1)	1620 (7.2)	2735 (12.2)	1975 (8.8)	3020 ⁵ (13.4)
	3-1/2 (89)	1930 (8.6)	3020 ⁶ (13.4)	2185 (9.7)	3020 ⁶ (13.4)	2440 (10.9)	3020 ⁶ (13.4)	3240 (14.4)	
	4-3/4 (121)	2135 (9.5)		2355 (10.5)		2575 (11.5)		3620 (16.1)	
5/8 (15.9)	2-3/4 (70)	1920 (8.5)	3800 (16.9)	2065 (9.2)	3935 (17.5)	2210 (9.8)	4070 (18.1)	2830 (12.6)	4885 ⁴ (21.7)
	4 (102)	2660 (11.8)	4885 ⁴ (21.7)	3020 (13.4)	4885 ⁴ (21.7)	3385 (15.1)	4885 ⁴ (21.7)	4770 (21.2)	
	5-1/2 (140)	3285 (14.6)		3695 (16.4)		4100 (18.2)		5325 (23.7)	
3/4 (19.1)	3-1/4 (83)	2120 (9.4)	4090 (18.2)	2425 (10.8)	4900 (21.8)	2730 (12.1)	5710 (25.4)	3785 (16.8)	5710 (25.4)
	4-3/4 (121)	3240 (14.4)	5340 (23.8)	4260 (18.9)	5340 (23.8)	5285 (23.5)	7325 ⁵ (32.6)	6155 (27.4)	7325 ⁵ (32.6)
	6-1/2 (165)	4535 (20.2)		5860 (26.1)		7185 (32)		7005 (31.2)	
1 (25.4)	4-1/2 (114)	3330 (14.8)	7070 (31.4)	4050 (18.0)	7600 (33.8)	4670 (20.8)	8140 (36.2)	5070 (22.6)	9200 (40.9)
	6 (152)	4930 (21.9)	9200 (40.9)	6000 (26.7)	9200 (40.9)	7070 (31.4)	9200 (40.9)	8400 (37.4)	
	9 (229)	6670 (29.7)		7670 (34.1)		8670 (38.6)		10670 (47.5)	

Fuente: Guía técnica de productos Hilti